



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PARAÍBA  
CAMPUS VIII  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

SIXTO GUTERRES DA SILVA

ESTUDO DA DINÂMICA DO USO DO SOLO E DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE  
MICRODRENAGEM URBANA NO BAIRRO DAS MALVINAS EM CAMPINA  
GRANDE – PB.

ARARUNA – PB

2023

SIXTO GUETERRES DA SILVA

ESTUDO DA DINÂMICA DO USO DO SOLO E DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE  
MICRODRENAGEM URBANA NO BAIRRO DAS MALVINAS EM CAMPINA  
GRANDE – PB.

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado  
como exigência para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Estadual da Paraíba - UEPB.

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARIA ADRIANA DE FREITAS MÁGERO RIBEIRO

ARARUNA – PB

2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Sixto Guterres da.  
Estudo da dinâmica do uso do solo e do desempenho do sistema de microdrenagem urbana no bairro das Malvinas em Campina Grande – PB. [manuscrito] / Sixto Guterres da Silva. - 2023.  
62 p. : il. colorido.  
  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2023.  
"Orientação : Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS. "  
1. Drenagem urbana. 2. Urbanização. 3. Área impermeável. I. Título  
  
21. ed. CDD 363.72

SIXTO GUETERRES DA SILVA

ESTUDO DA DINÂMICA DO USO DO SOLO E DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE  
MICRODRENAGEM URBANA NO BAIRRO DAS MALVINAS – CAMPINA GRANDE –  
PB.

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado  
como exigência para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Estadual da Paraíba - UEPB.

Aprovado em: 06/07/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Osires de Medeiros Melo Neto (UEPB)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Yáscara Maia Araújo de Brito (UEPB)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## DEDICATÓRIA

*Este trabalho é todo dedicado...*

Primeiro de tudo a Deus que me deu toda a força, fé e saúde e a minha família pelo apoio incondicional que sempre me deram durante toda a minha vida.

## AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado a vida e também meu deu força, fé, garra, persistência e luta até conseguindo ultrapassar todas as barreiras no meio do caminho durante os anos de estudo acadêmico de graduação, até finalmente concluir deste trabalho.

Sou muito grato ao meu governo de Timor-Leste que deu essa oportunidade da bolsa de estudo, além de apoio incondicional para me manter o estudo até ao fim. E ao governo brasileiro pelo acordo bilateral com o meu país para que eu possa ingressar na universidade brasileira, e principalmente a Universidade Estadual da Paraíba que ofereceu a vaga do curso de Engenharia Civil.

Aos meus pais, Afonso da Silva e Alcina de Jesus, aos meus avós, Raimundo da Silva e Maria de Fátima, aos meus tios, Domingos da Silva e José Barros, e tia Olandina da Silva que me deu todo apoio incondicional deles durante toda a minha vida, pelo carinho, amor, ensinamento e dedicação, para que hoje eu posso concretizar o meu objetivo.

As minhas queridas irmãs Belai, Idalia, Adaljita, Ana Marquita, Sejuinha, Natalina, Mônica, Zelia e Natasya e irmãos Clemente, Jacob e Henrique e sobrinhos Damelzo e Wuzy que tanto amo e admiro, dedico este resultado e realização a vocês.

A todos os meus amigos bolseiros e timorenses a quem eu compartilho a convivência durante a vida acadêmica no Brasil, especialmente na cidade de Campina Grande que me comporta como própria família na vida acadêmico.

Aos meus colegas do curso da Engenharia Civil, que compartilho amizade, convivência e pela disposição e ajuda incansável que eles me deram ao longo da etapa da vida acadêmica.

Aos meus professores do curso a quem me deu todos os apoios e conhecimentos deles até chegar ao final do curso.

Agradeço incondicional, a minha orientadora Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro, a quem me conduzir e orientar pelo todo tempo e além pela paciência, compreensão, dedicação até ao fim. Manifesto-me a sincera gratidão por ter escolhido uma ótima professora, a qual sem as suas dedicações e esforço eu não teria concluído este trabalho.

Por fim, não esqueço de agradecer também de todos que contribuem direta e indiretamente da realização deste trabalho.

## RESUMO

A expansão urbana descontrolada e mal administrada, aliada à falta de planejamento adequado dos sistemas de drenagem urbana, tem acarretado inúmeros efeitos adversos à sociedade. Os problemas mais frequentes é a ocorrência de alagamentos, enchentes e inundações durante eventos prolongados de chuva nas cidades brasileiras e no mundo. A raiz destes problemas advém na intensificação das atividades humanas, nomeadamente no crescimento desenfreado nas médias e grandes cidades, que aumenta progressivamente a extensão das superfícies impermeáveis. O estudo enfoca o crescimento dos padrões de uso e ocupação do solo, além disso, busca avaliar a distribuição das chuvas e as características hidrograma de cheias em diferentes cenários resultantes da crescente urbanização da cidade ao longo de um período de 13 anos. Foram utilizados banco de dados do IBGE sobre a mapa do estado da Paraíba do município de Campina Grande, e principal sobre mapas censitários dos bairros que existe no município, esses dados em formato (Shapefiles). Este trabalho feito com o auxílio de ferramenta Google Earth Pro para extrair os resultados de área impermeável e permeável do solo, por meio da análise da ocupação. Além disso, utiliza o software QGIS para processar esses resultados. Também utiliza o software HEC-HMS para realizar simulações hidrológicas e hidrodinâmicas da bacia. Os resultados de análise de Uso e Ocupação do solo (UOS) mostram um aumento de 5,07% nas áreas impermeáveis no primeiro período (2005-2012), e no segundo período (2012-2018) foi um aumento de 4,73%. Isso demonstra uma diferença comparável no crescimento da urbanização e ocupação do solo entre os períodos analisados. Uma análise hidrológica foi realizada para o mesmo período em relação à ocupação do solo foi realizada para examinar os hidrograma de cheias, a vazão de pico na saída no exutório  $35,80\text{m}^3/\text{s}$  aos 35 minutos após a chuva no cenário 2005. Após 7 anos no processo de UOS, a área impermeável aumentou, no primeiro período a vazão de pico no exutório é  $38,30\text{m}^3/\text{s}$  nos tempos de 35 minutos. No último período depois de 6 anos, no exutório a vazão de pico aumentou para  $40,60\text{ m}^3/\text{s}$ , no mesmo intervalo de tempo do cenário de 2012. Isso ilustra ainda mais que a área impermeável amplificada afeta diretamente as características do hidrograma de cheias. Concluindo que num mesmo intervalo de tempo vazão de pico são distintas, para uma bacia de tamanho iguais, o que afeta e diferencia a vazão de pico e a alteração de permeabilidade do solo, posteriormente acarreta diretamente na entrada e saída de uma hidrograma da bacia.

**Palavras-chave:** drenagem urbana; urbanização; área impermeável.

## ABSTRACT

Uncontrolled and poorly managed urban expansion, coupled with the lack of adequate planning of urban drainage systems, has led to numerous adverse effects on society. The most frequent problems are the occurrence of flooding, flash floods, and inundations during prolonged rainfall events in Brazilian cities and worldwide. The root of these problems stems from the intensification of human activities, namely the unbridled growth in medium and large cities, which progressively increases the extent of impervious surfaces. The study focuses on the growth of land use and occupation patterns. Also, it seeks to evaluate rainfall distribution and flood hydrograph characteristics in different scenarios resulting from the increasing urbanization of the city over 13 years. IBGE database was used on the map of the state of Paraíba of the municipality of Campina Grande, and mainly on census maps of the neighborhoods that exist in the municipality, these data in a format (Shapefiles). This work was done with the aid of Google Earth Pro tool to extract the results of impermeable and permeable soil area, through the analysis of occupation. In addition, it uses QGIS software to process these results. It also uses HEC-HMS software to perform hydrological and hydrodynamic simulations of the basin. The results of the Land Use and Occupancy (LUO) analysis show a 5.07% increase in impervious areas in the first period (2005-2012), and in the second period (2012-2018) it was a 4.73% increase. This demonstrates a comparable difference in the growth of urbanization and land occupation between the periods analyzed. A hydrological analysis was carried out for the same period of land occupation was carried out to examine the flood hydrograph, the peak flow at the outlet at 35.80m<sup>3</sup>/s at 35 minutes after rainfall in the 2005 scenario. After 7 years in the LUO process, the impervious area increased, in the first period the peak flow at the outflow is 38.30m<sup>3</sup>/s at the 35 minutes times. In the last period after 6 years, at the outflow, the peak flow has increased to 40.60 m<sup>3</sup>/s at the same time interval as in the 2012 scenario. This further illustrates that the amplified impervious area directly affects the characteristics of the flood hydrograph. Concluding that in the same time interval peak flows are different, for a basin of equal size, what affects and differentiates the peak flow and the change in soil permeability, subsequently directly affecting the entry and exit of a hydrograph from the basin.

**Keywords:** urban drainage; urbanization; impervious area.



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	rea Impermeável
ANA	Agência Nacional das guas
AP	rea Permeável
CG	Campina Grande
DRSAI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
E	Exutório
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HEC - HMS	<i>Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelleging System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
J	Junção
LUO	<i>Land Use and Occupancy</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-americana de Saúde
PB	Paraíba
PMCG	Prefeitura Municipal de Campina Grande
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PRS	Portal Resíduos Sólidos
R	Rio
SB	Sub-bacia
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SMRSU	Serviço Público de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos
UOS	Uso e Ocupação do Solo
ZRU	Zona de Recuperação Urbana

## LISTA DE SIMBOLOS

$A_c$	Área de contribuição
$A_u$	Área Urbanizado
$A_v$	Área Verde
CN	Curva Número
$CN_{med}$	Curva Número média
$H_0$	Cota da base
$H_1$	Cota da crista
$i$	Intensidade da chuva
$I_a$	Abstração inicial
J	Junção
L	Comprimento do talvegue
$n_i$	Coefficiente de rugosidade de <i>Manning</i>
P	Precipitação
Q	Vazão
S	Infiltração potencial máxima
$S_0$	Declividade
t	Duração da chuva
$t_c$	Tempo de concentração da bacia
$t_d$	Tempo de ocorrência do pico ou duração da chuva crítica.
$t_L$	Tempo de resposta da bacia
$t_R$	Tempo de duração da precipitação excedente
W	Largura
$\Delta H$	Desnível do talvegue

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>12</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	12
1.1.2	Objetivos Específicos .....	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Meio Ambiente.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Saneamento .....</b>	<b>14</b>
2.2.1	Saneamento Ambiental.....	15
2.2.2	Saúde ambiental.....	16
<b>2.3</b>	<b>Urbanização.....</b>	<b>17</b>
2.3.1	Processo de urbanização no Brasil .....	18
2.3.2	Impactos causados pela urbanização e suas consequências .....	19
<b>2.4</b>	<b>Sistema de Drenagem .....</b>	<b>20</b>
2.4.1	Os elementos da subsistemas de drenagem urbana .....	21
2.4.2	Impactos causadas pelas falhas na drenagem urbana .....	22
<b>2.5</b>	<b>Modelo hidrológicos.....</b>	<b>23</b>
<b>2.6</b>	<b>HEC-HMS .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7</b>	<b>O Sistema de Informações Geográficas (SIG).....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Área do estudo.....</b>	<b>26</b>
3.1.1	Caracterização e localização do município Campina Grande .....	26
3.1.2	Caracterização da área delimitado para estudo.....	28
<b>3.2</b>	<b>A análise do espaço no tempo da área do estudo .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>A quantificação da área permeável e impermeável do solo.....</b>	<b>34</b>
3.3.1	Coleta e processamento de dados para a elaboração dos possíveis cenários de ocupação do solo por últimos 13 anos para ano de 2005, 2012 e 2018. ....	34

<b>3.4</b>	<b>A simulação hidrologia da área escolhido .....</b>	<b>34</b>
3.4.1	Característica da bacia .....	34
3.4.2	Topologia da bacia.....	34
3.4.3	Sequência de dados de entrada para a simulação no HEC-HMS .....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>A análise do uso e ocupação do solo por três cenários diferentes .....</b>	<b>40</b>
4.1.1	Quantificação de área Ocupada e Desocupada do Solo.....	40
4.1.2	Quantificação e análise de porcentagem da área Impermeável e Permeável do Solo. 42	
<b>4.2</b>	<b>Simulação hidrológica do bairro de Malvinas por três cenários diferentes.....</b>	<b>43</b>
4.2.1	Resultados dos dados de entrada para a simulação hidrológica dos 3 cenários ....	43
4.2.2	Simulação da área de estudo para situação da urbanização nos cenários: 2005, 2012 e 2018. Para o tempo de retorno $t_R = 5$ anos.....	47
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1</b>	<b>A ocorrência de cheias devido a urbanização .....</b>	<b>59</b>
<b>5.2</b>	<b>Trabalhos futuros .....</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana de uma cidade e a ocupação urbana desordenada e descontrolada – além da falha de gerenciamento e deficiência de planejamento de um sistema de drenagem urbana adequada – trazem um imenso problema diretamente à população (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

Alguns desses problemas são resultados das crescentes atividades humanas. O aumento das cidades resulta em um incremento da área edificada e pavimentada nas cidades. Neste aspecto, têm vasta alteração no padrão dos usos e ocupações do solo mediante a remoção da cobertura vegetal original e aumento da impermeabilização, a diminuição do índice permeabilidade do solo para as expansões urbanas de uma região.

Em consequência, o processo da urbanização modifica os padrões naturais do solo, geralmente agravam as enchentes, inundações e alagamentos urbanos, devido à maior disponibilização de escoamento das águas superficiais. Neste sentido, o sistema de drenagem ficará mais sobrecarregada, pois a permeabilidade do solo diminui, ocorrendo a dificuldade de infiltração da água no solo. Assim, devido ao aumento da superfície pavimentada faz com que a velocidade de escoamento cada vez maior ocasione as vazões de pico, tendo em visto que há mais água disponível para escoar. De um modo geral essa água passa a escoar rapidamente por causa da diminuição das retenções superficiais naturais e da vegetação, face às impermeabilizações das bacias.

A escolha do bairro das Malvinas foi em virtude de se apresentar como um dos bairros mais populosos no município de Campina Grande. Além disso, a área escolhida sofre frequentemente com problemas de inundação e enchentes nos períodos de chuva prolongada em Campina Grande.

O trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica do uso do solo e do desempenho do sistema de microdrenagem urbana no bairro das Malvinas em Campina Grande, associadas aos impactos causados pelo crescente uso do solo, devido ao processo de urbanização, e verificar o crescimento da população, além disso, observar a transformação de chuva-vazão de uma bacia e da sub-bacia e sua característica de hidrograma de cheias ao longo do crescimento urbano.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a dinâmica do uso do solo e do desempenho do sistema de microdrenagem urbana no bairro das Malvinas em Campina Grande – Paraíba

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Verificar o crescimento da população do bairro das Malvinas no âmbito da urbanização local e o uso e a ocupação do solo.
- Elaborar uma análise integrada da drenagem e da dinâmica do uso e ocupação do solo urbano no bairro da Malvinas, na cidade de Campina Grande (PB).
- Identificar a distribuição de chuvas e verificar a característica do hidrograma em diferentes cenários.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Meio Ambiente

O termo do meio ambiente se refere aos lugares, recintos ou lugares para seres vivos e das coisas. Estritamente falando, ele representa a combinação de todas as coisas e fatores externos ao indivíduo ou população de indivíduos, e é composto de elementos biológicos e não biológicos e suas relações mútuas (KRZYSCZAK; ROBERTO, 2016).

O significado do meio ambiente, não se refere apenas à floresta, como por exemplo a floresta Amazônica, a Savana Africana, a floresta de Taiga no hemisfério Norte e *Daintree Rainforest* da Austrália, mas o nosso lugar de trabalho, a cidade e a nossa própria casa, eles também são meios ambientes, esses lugares ou locais pertencem ao meio ambiente. Portanto, meio ambiente se refere a todos os elementos naturais e artificiais que cercam e criam os seres vivos em um determinado lugar.

Então, é evidente que a proteção do meio ambiente é essencial para a sobrevivência e conservação da vida no planeta. É importante que os indivíduos e as empresas tomem medidas cautelosas para preservar o meio ambiente, tais como reduzir e controlar o consumo de recursos naturais, minimizar os impactos e buscar soluções sustentáveis.

Segundo Migliari (2001, p.40), o meio ambiente é definido como:

O meio ambiente é a "integração e a interação do conjunto de elementos naturais, artificiais, culturais e do trabalho que propiciem o desenvolvimento equilibrado de todas as formas, sem exceções. Logo, não haverá um ambiente sadio quando não se elevar, ao mais alto grau de excelência, a qualidade da integração e da interação desse conjunto".

Para Oliveira (2018), meio ambiente natural sofre constantes agressões devido às ações humanas na sociedade. À medida que a população aumenta, as cidades também crescem de maneira desordenada. Esse fenômeno ocorre por falta de um planejamento urbano adequado para lidar com as mudanças socioambientais à falta do acompanhamento de saneamento básico agrava-se por causa da industrialização. Ainda segundo o autor, para não agredir o meio ambiente, os governantes devem acompanhar a dinâmica social e utilizar os meios urbanísticos e ambientais para alcançar um desenvolvimento que equilibre as desigualdades sociais. Ele ressalta que este problema acontece em várias cidades do país, mas principalmente para a cidade de menor porte.

A proteção ambiental não é apenas uma questão de responsabilidade social, mas também é essencial para garantir o equilíbrio ambiental de um futuro saudável e próspero para as

gerações futuras. Pois, é evidente que as autoridades de todas as nações tomem as iniciativas adequadas que tratam e resolvem o problema do meio ambiente.

Vale salientar que no Brasil de acordo como o sistema jurídico brasileiro, pela lei 6.938, de 31/08/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação no Brasil, define: “Meio ambiente como o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL, 1981, p.01).

## **2.2 Saneamento**

O saneamento, conforme a definição da Organização Mundial da Saúde (OMS), é a gestão ou controle de todos os fatores físicos que podem ter um efeito prejudicial sobre as pessoas, piorando seu bem-estar físico, mental e social.

Ainda de acordo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018), saneamento é definido como a disponibilidade e uso de equipamentos que garantam o descarte adequado de patógenos, como fezes e urina. Para além da sua natureza preventiva, o saneamento seguro também visa melhorar e manter o bem-estar psicológico e social.

Segundo Massa et al. (2020), o saneamento básico é uma preocupação de grande magnitude para a saúde pública, especialmente em países com baixa e média renda. O saneamento básico abrange o controle de fatores presentes no meio físico que exercem ou possam ter efeitos nocivos prejudiciais sobre o bem-estar físico, psicológico e social, e é considerado um importante determinante ambiental da saúde.

Os autores, afirmam que por falta de planejamento no crescimento dos centros urbanos agrava-se os problemas de saneamento, resultando em um impacto significativo na carga global de doenças atualmente.

Então, ao falar o conceito de saneamento em si, é importante saber as causas dos efeitos colaterais do ambiente que causa na comunidade, pois o foco principal do saneamento é ter um ambiente saudável para que possa garantir a saúde da população. Logo, o cuidado com a saúde se refere ao próprio cuidado com o meio ambiente onde estão inseridas as populações. Existem vários aspectos que o saneamento pode ajudar e melhorar, por exemplo a ajuda na melhoria da educação, socioeconômica e melhoria de vida.

No Brasil, juridicamente de acordo com a lei federal nº 11.445/2007, e com as alterações da Lei nº 14.026/2020, o saneamento básico é definido como um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e suas facilidades das instalações operacionais que é composto por:



abastecimento de água potável, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, esgoto sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais (Brasil, 2020). A Lei também estipula que a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos urbanos deve ser assegurada, mediante a cobrança de remunerações, taxas ou tarifas e demais preços públicos por esses serviços, de acordo com o sistema de prestação de serviço ou de suas atividades (PRS, 2022).

Moraes (2009) relata que “as ações de Saneamento Básico, além de fundamentalmente de saúde pública e de proteção ambiental, representam bens de consumo coletivo, serviços essenciais, direito social de cidadania, direito humano fundamental e dever do Estado”.

Para FUNASA (2007) define que as ações de saneamento devem atingir todas as etapas da cadeia alimentar, envolvendo a identificação de pontos críticos e a adoção de medidas sanitárias em relação aos problemas básicos como abastecimento de água, remoção dos dejetos, destino do lixo e o controle de vetores e roedores. Paralelamente, deve ser dada ênfase especial à educação sanitária dos manipuladores e consumidores de alimentos, no sentido de serem observadas as recomendações sanitárias que garantam a qualidade do alimento. (FUNASA, 2007. p. 340)

Ainda segundo FUNASA (2015) sobre o saneamento “conclui-se que o homem e o meio possuem uma relação intrínseca que pode ser mediada pelo campo do saneamento. À medida que o saneamento evolui em conhecimento, tecnologia e investe na melhoria das condições sanitárias, entende-se que sem o saneamento seria impossível desfrutar da qualidade de vida”.

Conforme Moita Neto e Carcara (2017), por falta de instalações de saneamento básico adequadas desempenha-se um papel preponderante no contexto das necessidades ambientais das grandes e pequenas cidades. Se a incidência de inundações está aumentando; se há dificuldades no gerenciamento de resíduos sólidos e o crescente despejo dos resíduos em locais inadequados; se é a ausência de rede de esgoto ou a soma de todos esses fatores, o que é urgente é a aplicação de Políticas Públicas para reduzir os impactos no meio ambiente, na saúde da população, na economia nacional e até na educação.

Conforme a abordagem anterior vale ressaltar que os conceitos importantes no saneamento, os quais destacam-se: saneamento ambiental, o meio ambiente e saúde ambiental.

### 2.2.1 Saneamento Ambiental

Conforme a definição do Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2007), o saneamento ambiental está relacionado ao conjunto de ações

socioeconômicos que têm por objetivo alcançar os níveis de melhoria da salubridade ambiental, que abrange vários serviços relacionados ao saneamento. Ainda de acordo com FUNASA:

Por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural. (FUNASA, 2007, p. 14).

Conforme Ribeiro (2017) o saneamento ambiental (abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas) constitui o saneamento básico e reflete as preocupações mais importantes da análise da qualidade ambiental, especialmente nas áreas urbanas, como componente do ordenamento e planejamento da cidade.

Segundo Ferreira et al. (2016) afirmam que o saneamento ambiental está intimamente relacionado aos problemas de saúde, portanto, a falta ou ineficácia pode levar à instabilidade ou fragilidade nos serviços públicos.

O saneamento ambiental é objeto de interesse de diversos órgãos governamentais e comerciais em diferentes níveis de governo determinados a se distanciar de seu objetivo principal, que é a promoção da saúde pública. Nos países do "terceiro mundo", essa situação agrava o caos institucional e a fragmentação de recursos escassos. Os déficits na região e a falta de recursos de enfrentamento trouxeram desafios crescentes aos governos desses países, na perspectiva de mudar essa situação e diante do processo de globalização econômica, que agravou essa situação de aumentar a pobreza do país (PRS, 2022).

Para Brasil (2010) as Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) são divididas em cinco grandes grupos, conforme a classificação da Fundação Nacional da Saúde (FUNASA):

- a) doenças de transmissão feco-oral;
- b) doenças transmitidas por inseto vetor;
- c) doenças transmitidas através do contato com água;
- d) doenças relacionadas com a higiene;
- e) geo-helmintos e teníases.

### 2.2.2 Saúde ambiental

Conforme definido pela Organização Mundial da Saúde, a saúde ambiental é todo o aspecto da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que é determinada por fatores físicos,

químicos, biológicos, sociais e psicológicos no meio ambiente. Aborda também a teoria e a prática de prevenção ou controle de fatores de risco que podem comprometer a saúde das gerações atuais e futuras (OMS, 1993). A saúde ambiental pode ser entendida como a capacidade de prevenir doenças disseminadas pelo meio ambiente e melhorar a qualidade ambiental que favorece a saúde das populações urbanas e rurais (SÃO PAULO, 1999).

De acordo com a OPAS (1994):

Os problemas de saúde ambiental da América Latina e Caribe estão dominados tanto por necessidades não atendidas, enquanto saneamento ambiental tradicional, como por necessidades crescentes de proteção ambiental, que têm se tornado mais graves devido à urbanização intensiva em um entorno caracterizado por um desenvolvimento econômico lento.

### **2.3 Urbanização**

O termo “urbanização” designa-se a um processo de transição ou mudança de uma sociedade rural para o ambiente urbano, onde existe a maior concentração de população. A palavra urbanizar se refere à mudança de uma região rural para as características urbanas. Geralmente, esse fenômeno está associado diretamente aos desenvolvimentos da civilização e da tecnologia de um país. Neste processo, haverá grandes modificações no ambiente natural, onde o espaço rural altera-se para urbano e a população também, migrando em massa de uma zona rural para a cidade, para ter uma condição de vida melhor. Esse processo em si vai ser analisado por várias ciências e estudos, tais como a economia, geografia, sociologia e a antropologia, pois cada uma delas oferecem diferentes análises no tocante ao problema do crescimento da cidade (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

Segundo Silva (2010) as primeiras cidades se formaram no vale formado pelos rios Tigre e Eufrates por volta de 3500 a.C., no entanto, o fenômeno urbano só se manifestou até a primeira metade do século XIX. Portanto, pode-se dizer que embora as cidades existam há cerca de 5.500 anos, a urbanização é um fenômeno moderno típico.

De acordo com Silva et. al (2015), a urbanização é um fenômeno associado ao desenvolvimento da esfera urbana de algumas sociedades, em contraste com o desenvolvimento da esfera rural. Ao longo da história, a urbanização esteve associada à evolução do capitalismo, principalmente na fase industrial. Este processo é objeto de estudo em várias disciplinas, incluindo Sociologia, Geografia e Antropologia, cada uma das quais oferece uma abordagem distinta para a compreensão sobre o problema do crescimento das cidades.

Segundo o Relatório das Cidades Mundial 2016, do Programa da Organização das Nações Unidas, a urbanização e o crescimento estão intrinsecamente ligados e é indiscutível o

importante papel que a urbanização desempenha na transformação socioeconômica, na criação de riqueza, na prosperidade e no desenvolvimento. Este relatório enfatiza que o futuro das cidades depende em grande parte de como se planeja e se gerencia a urbanização e como se usa esse processo de transformação para fornecer o contexto, a base e o impulso necessários para alavancar a mudança.

### 2.3.1 Processo de urbanização no Brasil

Segundo Maricato (2001), o Brasil teve grandes cidades desde o período colonial, mas o processo de urbanização da sociedade brasileira começou se a consolidar a partir da virada do século XIX. Esta urbanização foi impulsionada por vários fatores, incluindo: a libertação de escravos em 1888, a declaração da República em 1889, e depois das atividades cafeeiras, setor ainda engatinha e as necessidades básicas do mercado interno.

Maricato ressaltou que, a partir do final do século XIX e do início do século XX, nesse período que realizaram as obras de saneamento básico, eliminar epidemias e promover o paisagismo ao mesmo tempo em que implanta o fundamento jurídico do mercado imobiliário capitalista. A população excluída desse processo é expulsa para as colinas e periferias da cidade. Manaus, Belém, Porto Alegre, Curitiba, Santos, Recife, São Paulo, especialmente Rio de Janeiro são cidades que vivenciaram mudanças que combinaram saneamento ambiental, embelezamento e isolamento territorial.

Segundo Lucci et al. (2005, p.450), a urbanização no Brasil exhibe características típicas do padrão de urbanização dos países subdesenvolvidos:

- a) foi caracterizada pela criação de algumas grandes cidades que concentraram uma parte significativa da riqueza, embora essa tendência tenha se alterado a partir dos anos 1990;
- b) é classificada como uma "urbanização terciária", com crescimento de atividades terciárias pouco especializadas e de baixo valor agregado, incluindo aquelas pertencentes à economia formal;
- c) ocorreu em ritmo acelerado, muitas vezes sem planejamento adequado (sendo um dos processos de urbanização mais rápidos do mundo), com um intenso êxodo rural entre os anos 1950 e 1990;
- d) apresenta um padrão de crescimento periférico, com a formação de amplas áreas urbanas e a população de baixa renda sendo empurrada para regiões distantes do centro.

A urbanização no Brasil, segundo Silva (2010), as estatísticas mostram que a população urbana do Brasil era cerca de 32% em 1940, 45% em 1960, mais de 50% em 1970 e atingiu 70% na década de 1980, indicando que o processo de urbanização está se acelerando, mas a urbanização é prematura, causados por fatores nem sempre desenvolvidos, como o escoamento da população rural devido às precárias condições de vida no campo, e a liberação de mão de obra pela mecanização agrícola ou conversão de lavouras em fazendas de gado.

Alencar et al. (2014) afirma que no Brasil o processo da urbanização começou na segunda metade do século XVIII, durante período da Revolução Industrial. Antes disso, a maior parte da população brasileira vivia em áreas rurais, e dependendo da agricultura como sua principal fonte de subsistência. No entanto, nos países subdesenvolvidos como o Brasil, a urbanização avança de forma desigual nos territórios ocupados pelo homem, levando a uma perda de identidade para se adequar à nova realidade reconhecida pelas fábricas e máquinas.

Silva et al. (2015), apontam que até nos dias de hoje o processo de modernização da economia brasileira não eliminou a pobreza e da desigualdade social. Na verdade, a modernização aprofundou as desigualdades pré-existentes, que remontam a um passado distante, devido à maior concentração de renda. A diferença de renda entre ricos e pobres hoje é muito maior do que nos primórdios da modernização, embora uma classe média crescente e com maior poder aquisitivo tenha contribuído para a expansão do mercado consumidor.

Ainda segundo autor, “o processo de urbanização no Brasil apresenta características próprias do padrão de urbanização dos países subdesenvolvidos.

### 2.3.2 Impactos causados pela urbanização e suas consequências

Conforme Silva (1997) a urbanização gera enormes problemas ambientais, geralmente alterando o solo e além disso, deteriora o ambiente natural, no quesito da transformação da paisagem rural para o ambiente urbano. Então, posteriormente, provoca a desorganização social, a carência de habitação, desemprego, problemas de higiene e de saneamento básico.

Por outro lado, quando tem crescimento população acelerada e sem planejamento urbano adequada, surgirá outros problemas há aumento de formação de favelas e moradores de rua, congestionamento de transportes devido ao aumento da frota de veículos nas cidades maiores, como por exemplo: São Paulo e Rio de Janeiro e ocasiona diretamente o trânsito ao longo das rodovias.

Para Silva (1997), a solução desses problemas tem que ter a intervenção do poder público, que busca transformação do meio ambiente e criar novas formas urbanas, ou seja, a urbanificação.

**Urbanificação:** Processo deliberado de correção da urbanização, ou na criação artificial de núcleos urbanos.

**Desemprego:** As populações do campo deixam a zona rural e vão migrando para a cidade, em consequência causa a diminuição de índice de empregos em relação à quantidade excessiva de populações.

Conforme Pereira (2012), qualquer processo de mudança, como a industrialização e urbanização das cidades. No entanto, é evidente que esses processos de mudança têm causado danos devido à atividade humana no planeta. Este fato suscita a necessidade de refletir sobre a relação entre a sociedade e a natureza, a fim de minimizar as consequências dessa interação.

De acordo com Míguez et al. (2016) a ocupação desordenada de áreas urbanas, remoção em massa vegetação da bacia, impermeabilização de grandes áreas, geração de resíduos sólidos e esgoto sanitário, que repetidamente não é coletado e tratado de forma adequadamente, modifica e causar impactos nos sistemas de drenagem.

Conforme o Relatório da Cidades Mundial 2016 da (ONU), relata que em geral, a urbanização é construída sobre modelos insustentáveis em diversos aspectos. Do ponto de vista ambiental, o atual modelo de urbanização promove a expansão suburbana de baixa densidade - predominantemente impulsionada pelo interesse privado em vez do público - e em parte facilitada pela dependência do uso de automóveis particulares, resultando em um consumo excessivo de energia e contribuindo perigosamente para as mudanças climáticas. No âmbito social, o modelo de urbanização gera diversas formas de desigualdade, exclusão e privação, o que resulta em disparidades espaciais e cidades fragmentadas, frequentemente caracterizadas por condomínios fechados e favelas.

Portanto, é evidente que o modelo atual de urbanização é insustentável em vários aspectos. É necessário repensar e redirecionar os processos de urbanização, levando em consideração critérios de sustentabilidade ambiental e social, buscando promover uma maior equidade espacial e melhor qualidade de vida para todos os habitantes das cidades.

## **2.4 Sistema de Drenagem**

O termo drenagem urbano é definido como um conjunto de elementos destinados a coletar as águas pluviais precipitadas, ou seja, recolher as águas proveniente da chuva sobre uma determinada local ou região, que escorrem sobre sua superfície, e conduzindo estas águas através das galerias de águas pluviais e esgotos pluviais até seu destino final como rios, lagos e mares (MIGUEZ; REZENDE; VERÓL, 2015).

Para Ribeiro e Rooke (2010), os sistemas de drenagem urbana são essencialmente sistemas de proteção contra enchentes, empoçamentos, erosão, barrancos e assoreamento, ocorrendo principalmente em áreas baixas de comunidades alagadas ou nas margens de cursos das águas naturais. No campo da drenagem urbana, o problema é mais proeminente devido à urbanização desordenada e à falta de políticas de desenvolvimento urbano. Os autores também defendem que quando se tem um sistema de drenagem urbana adequado, seja de águas superficiais ou subterrâneas, desde que essa drenagem seja viável, traz uma série de benefícios, como: o desenvolvimento de sistemas viários; redução do custo de manutenção de estradas; melhoria dos imóveis existentes nas áreas beneficiárias; escoamento rápido das águas superficiais, reduzindo os problemas de trânsito urbano durante as chuvas; eliminando a presença de água parada; rebaixamento dos lençóis freáticos; restauração de áreas alagadas ou submersas; segurança e conforto das pessoas.

De acordo com Gomes (2004) com base no conceito de higienistas, destacando que o implante do sistema tradicional tem por objetivo remover toda a água precipitada o mais rápido possível para evitar problemas nos centros urbanos. Assim, as obras são usadas sistemas hidráulicos, como abertura de canais e retificação de rios, tubulações subterrâneas, etc.

A drenagem urbana pertence à categoria de saneamento básico e, de acordo com a norma brasileira, a Lei Federal nº 11.445 / 07 prevê a legislação para orientar os governos municipais sobre a drenagem urbana (BRASIL, 2007). Vale ressaltar que a lei federal também estabelece as diretrizes para o assunto de saneamento básico em todo território nacional.

Para Miguez, Rezende e Veról (2015), no sistema drenagem urbana é englobado basicamente por dois subsistemas característicos:

- a) **microdrenagem:** são compostos pelos pavimentos, sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais e canais de pequenas dimensões.
- b) **macrodrenagem:** são a condução final das águas captadas pela drenagem primária, ou seja, já é para a rede de maior porte. tais como canais (abertos ou de contorno fechado) de maiores dimensões.

#### 2.4.1 Os elementos da subsistemas de drenagem urbana

O microdrenagem urbana tem sua função primordial de coletar e conduzir a água pluvial de redes primárias de drenagem (ruas e loteamentos que envolvem a parte da drenagem urbana) até o sistema de Macrodrenagem. Além de retirar a água pluvial dos pavimentos das vias públicas, evitar alagamentos, oferecer segurança aos pedestres e motoristas, e evitar ou reduzir danos.

Os elementos principais na microdrenagem são seguintes:

- a) **Meio-fio ou Guia:** blocos de concreto ou de pedra, situados entre a via pública e o passeio, com sua face superior nivelada com o passeio, formando uma faixa paralela ao eixo da via pública;
- b) **Sarjetas:** São as faixas formadas pelo limite da via pública com os meio-fio, formando uma calha que coleta as águas pluviais oriundas da rua;
- c) **Sarjetões:** Calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o escoamento das águas sobre as sarjetas;
- d) **Galeria:** Canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas;
- e) **Trecho:** Comprimento de galeria situada entre dois poços de visita.

#### 2.4.2 Impactos causadas pelas falhas na drenagem urbana

Segundo Miguez, Rezende e Veról (2015), as cheias urbanas estão diretamente relacionadas às falhas de microdrenagem e macrodrenagem, tais como a falha de projeto ou incapacidade de prever o horizonte de projeto, além da falta de manutenção periódica do projeto. Para os autores, o obsoleto do sistema drenagem é causado pela aceleração da expansão urbana descontrolada gerando o efeito de um aumento das vazões que chegam à rede, que é superior a capacidade esperada, ou seja, os valores de vazões que chegam além do que foi previsto no horizonte de projeto da cidade, faz com que a rede drenagem não seja capaz de atender às necessidades de escoamento.

Tais problema surgem devido à falta de integração entre projeto de urbanização, saneamento e drenagem, podem ser descritos como:

- a) ocupação intensa e inadequada do solo em áreas das várzeas dos rios (zona de inundação);
- b) por falta de controle de crescimento urbano a montante da área de projeto, em área que originalmente eram naturais, lançado sobre um incremento de vazão não compatível;
- c) por falta do sistema de drenagem planejados, concomitantemente, ao planejamento urbano e falha de gestão das águas pluviais;
- d) por falta de integração entre os sistemas do saneamento básico, que devem ser compreendidas como complementares, e não independentes entre si, o correto funcionamento de uma condição é essencial para a eficiência do outro.



## 2.5 Modelo hidrológicos.

Existem várias maneiras de classificar os modelos, conforme descrito por USACE-HEC (2000) e GONTIJO (2007). Alguns critérios incluem: a forma de representar os dados (discretos ou contínuos), os tipos de variáveis utilizadas (estocásticas ou determinísticas), o tipo de relação entre essas variáveis (empíricas ou conceituais) e a presença ou ausência de relações espaciais (concentradas ou distribuídas). Os detalhes das definições podem ser observados no quadro 1:

**Quadro 1** - Classificação dos modelos matemáticos.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
<b>Discreto ou contínuo</b>	Um modelo é dito contínuo quando os fenômenos são contínuos no tempo, e discreto em caso contrário. A maioria dos sistemas hidrológicos é contínuo, porém são representados por modelos discretos. Esta distinção se aplica essencialmente nos processos de escoamento superficial da bacia. Um modelo discreto simula um único evento de chuva, cuja duração pode variar de algumas horas a alguns dias. Um modelo contínuo simula um período mais longo, prevendo o comportamento da bacia tanto durante a chuva como entre os eventos de precipitação.
<b>Estocástico ou determinístico</b>	Esta é uma das principais classificações dentro da simulação hidrológica. Se a chance de ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos (variáveis aleatórias). De outro lado, se a probabilidade de ocorrência das variáveis envolvidas no processo é ignorada, o modelo e o processo são ditos determinísticos. Nos modelos determinísticos existe uma relação direta entre causa e efeito, ou seja, a entrada define a saída do sistema.
<b>Empírico ou conceitual</b>	Modelo conceitual é aquele cujas funções utilizadas na sua elaboração consideram formulações físicas parametrizáveis e/ou empíricas e, portanto, pelo menos um parâmetro exige calibração. Os modelos empíricos são aqueles que ajustam os valores calculados aos dados observados através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos. São úteis e simples, porém pouco robustos, pois são específicos para situação em que foram aferidos.
<b>Concentrados ou distribuídos</b>	Um modelo é concentrado quando não leva em conta a variabilidade espacial (esta é representada por um único valor médio) e utiliza somente o tempo como variável independente. É aplicado em bacias pequenas, onde a distribuição espacial das variáveis não compromete os resultados do estudo. Um modelo é dito distribuído quando as variáveis e parâmetros do modelo dependem do espaço e/ou do tempo. Somente o modelo distribuído permite estudar a variabilidade do comportamento físico de diferentes partes do sistema.

Fonte: USACE-HEC, 2000. Adaptado por (PEREIRA, 2020).

A modelagem semidistribuída é uma variante do método concentrado, também conhecida como abordagem "pseudodistribuída". É um modelo de solução intermediária entre modelo concentrado e distribuído. No modelo semidistribuído, representa em parte a variedade interna de uma bacia, nele é possível dividir a bacia em sub-bacia menores com pontos intermediários, onde é possível obter resultados e também com a possibilidade de representar a variabilidade das características físicas internas da bacia e a variabilidade de dados de entrada de uma chuva, conforme COLLISCHONN (2020). Neste caso, a quantidade de escoamento de métodos como o hidrograma unitário, são utilizados para estimar a vazão em cada uma dessas

sub-bacias. Em seguida, esses volumes de escoamento são encaminhados a jusante para calcular a vazão de saída da bacia maior.

## 2.6 HEC-HMS

O modelo hidrológico *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*, foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do exército dos Estado Unidos, (USACE) sigla em inglês. HEC-HMS é um sistema de modelagem hidrológico que foi concebido para simular os processos de transformação de chuva-vazão, ou seja, foi projetado para simular o escoamento superficial em bacias hidrográficas dendríticas. O software é livre e disponível gratuitamente para qualquer usuário. O software apresenta um ambiente de trabalho totalmente integrado, incluindo um banco de dados, utilitários de entrada de dados, mecanismo de computação e ferramentas de relatório de resultados. Uma interface gráfica do usuário permite ao usuário um movimento contínuo entre as diferentes partes do software.

De acordo com Tavares e Castro (2005), o modelo hidrológico no HEC-HMS exige, em primeiro lugar, a inserção de dados da bacia hidrográfica e dados meteorológicos. O HEC-HMS é composto, em geral, por três componentes: o modelo de bacia, o modelo meteorológico e as especificações de controle (USACE-HEC, 2008a). Citado por Pereira (2020), os componentes operam com configurações que podem ser descritas como:

- a) **modelo de bacia:** categoria em que são inseridos e manipulados os dados referentes à geometria da bacia hidrográfica, sendo representado o esquema hidrológico da área, com as sub-bacias, os trechos de rios, possíveis reservatórios, junções e divisões dos canais. inclui, neste componente, a definição dos métodos e respectivos parâmetros referentes à perda por infiltração, evaporação, interceptação, os métodos de transformação chuva-vazão, de cálculo do escoamento de base e propagação em rios;
- b) **modelo meteorológico:** etapa em que é feita a entrada dos dados de precipitação e evapotranspiração, sendo selecionado o método de distribuição temporal destes;
- c) **especificações de controle:** refere-se aos períodos de tempo para os quais serão realizados os cálculos, incluindo data e horário de início e fim do determinado período, bem como o intervalo ou “passo” de computação dos dados.

## 2.7 O Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Conforme o ESRI (1997), SIG é um conjunto de dados geográficos e pessoal, sendo organizado e desenhado em um computador (hardware), programas (Software), de forma eficiente, para capturar, armazenar, atualizar, arquivar, manipular, analisar e exibir todas as informações referenciados de forma geograficamente.

De acordo com Batista (2005), afirma que dentro do SIG possui vários componentes que são:

- a) interface com o usuário;
- b) entrada e integração de dados;
- c) funções de processamento gráfico e de imagens;
- d) visualização e plotagem;
- e) armazenamento e recuperação de dados que são organizados em forma de um banco de dados geográficos.

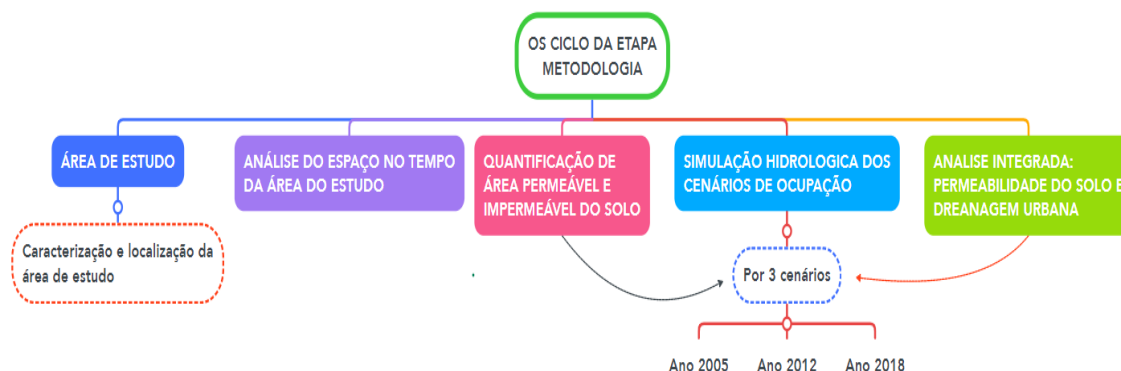
Segundo Raper e Maguire (1992), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre/sob da superfície da Terra.

Para Paranhos Filho, et al (2003), o SIG é um ambiente ideal para integrar informações, dados e Cartas naturais em diferentes escalas. Segundo autor, como os dados climáticos e as cartas topográficas são analisados em conjunto, todas as informações ficam em uma base comum, permitindo sua integração e utilização.

### 3 METODOLOGIA

Neste presente trabalho, a estrutura das etapas metodológicas (Figura 1) foi seguida pelo um trabalho feito por (SANTOS, 2015), para poder realizar a análise de permeabilidade do solo e da drenagem.

**Figura 1** - Fluxograma de metodológicas do trabalho.



Fonte: Elaborado por autor.

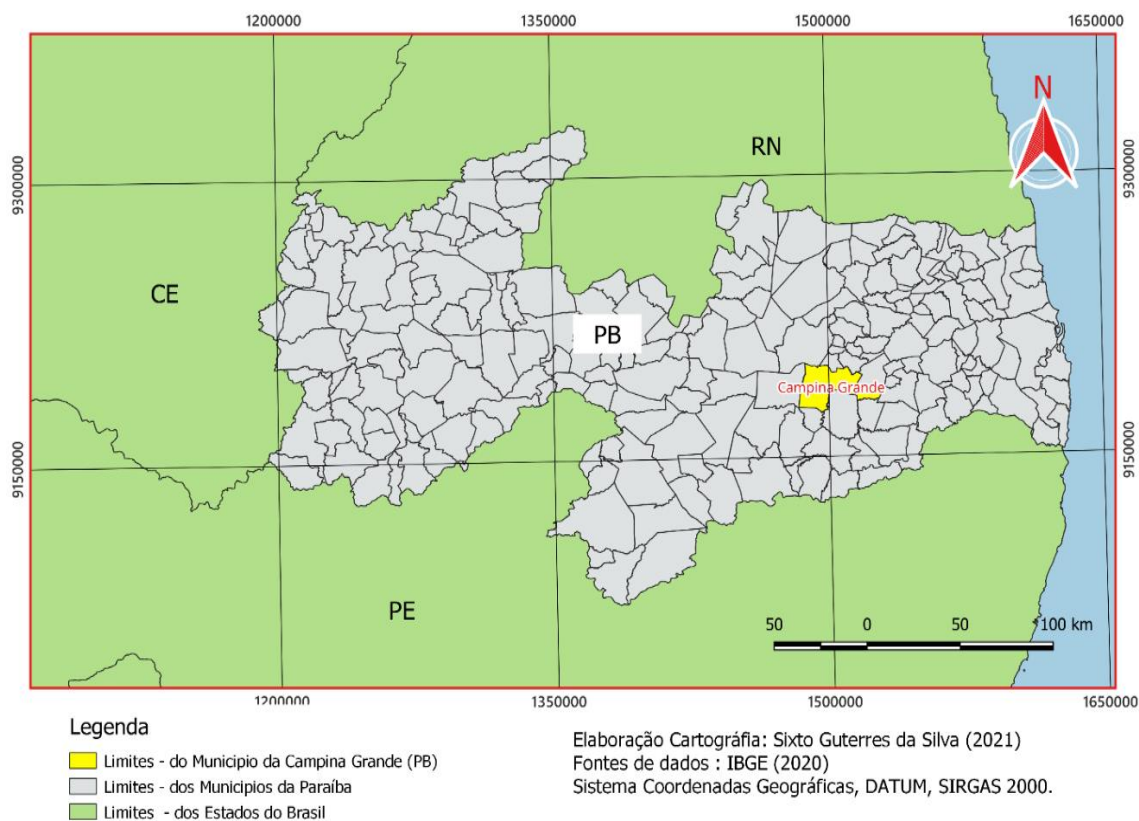
Para a elaboração do trabalho foi possível entrar nos sites disponíveis no Brasil, como (IBGE, INPE, AESA), além disso, através do auxílio de software e ferramenta como (*Google Street View*, *Google Earth*, Topodata, QGIS e *HEC-HMS*) para que possa realizar os mapas de localização e outros dados relevantes para o estudo.

#### 3.1 Área do estudo

##### 3.1.1 Caracterização e localização do município Campina Grande

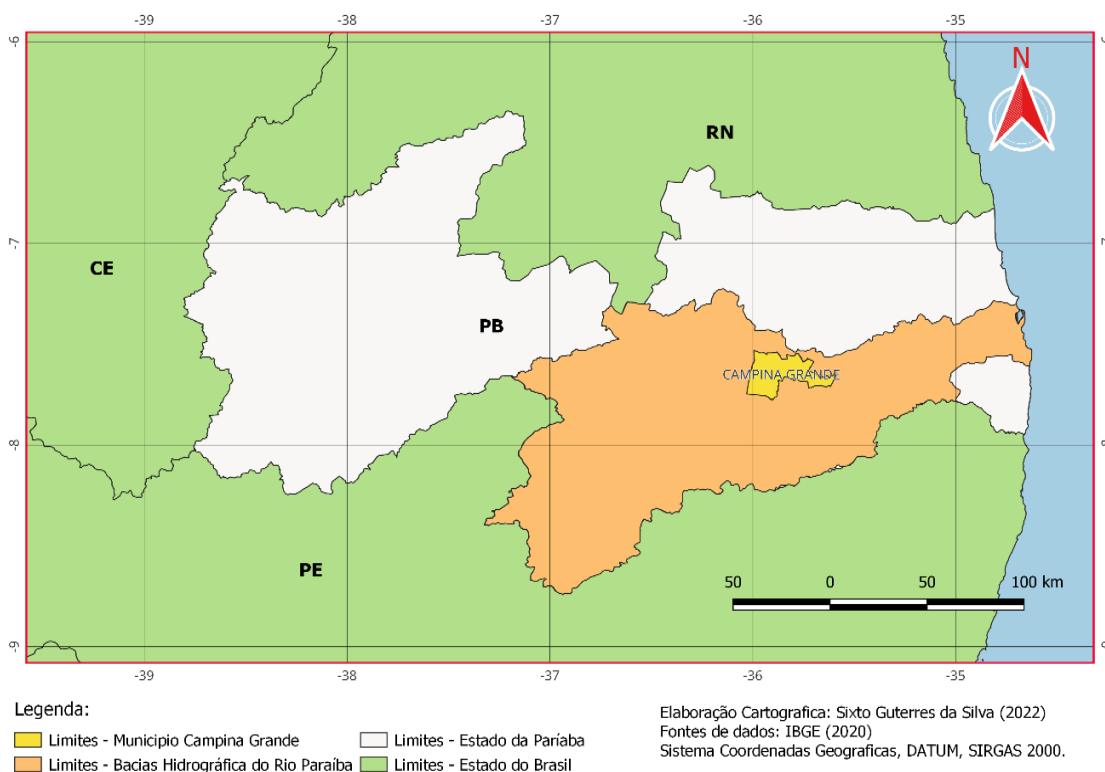
O município de Campina Grande está localizado na região Nordeste e dentro do estado da Paraíba e pertence na Mesorregião do Agreste Paraibano, está situada a 551 metros de altitude, e tem as seguintes coordenadas geográficas: a 7°13'50" de latitude Sul e a 35°52'52" de longitude oeste, conforme Figura 2. O município se estende por 591,658 km<sup>2</sup> (Figura 4.1) e contava com as populações de 385.213 habitantes no último censo (IBGE, 2010) e na estimativa atual 419.379 habitantes (IBGE, 2022). A densidade demográfica é de 708,82 habitantes por km<sup>2</sup> no território do município.

**Figura 2** – Mapa de localização do município de Campina Grande.



Fonte: Elaborada a partir do IBGE (2020).

O município de Campina Grande está inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, que tem uma área de 20.071,83 km<sup>2</sup> pois ele abrange 38% do seu território, abrigoando aproximadamente 1.828.178 habitantes que correspondem a 52% da sua população total, e considerado a segunda maior bacia do estado da Paraíba, onde divide-se em quatro sub-bacia que são rio Taperoá e regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba, (AESA, 2022). A (Figura 3) mostra a sua localização.

**Figura 3** – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

Fonte: Elaborada a partir do IBGE (2020).

### 3.1.2 Caracterização da área delimitado para estudo

A área delimitada para estudo foi o bairro das Malvinas que abrange uma área de 3,49 km<sup>2</sup> e está localizada na zona-oeste da divisão administrativa da regional VI do município de Campina Grande. A razão para a escolha do bairro das Malvinas devido a seu alto crescimento urbano e crescimento populacional. Outro motivo é devido ao histórico de inundações e alagamentos do bairro.

Conforme o relato recente da defesa civil de Campina grande (2021), “o riacho de Bodocongó e o Canal do Prado transbordaram em trechos localizados nos bairros das Malvinas, Jardim Paulistano e Tambor, respectivamente”.

De acordo com os dados do IBGE do censo demográfico do bairro das Malvinas, tem crescido significativamente ao longo de 10 anos, conforme (Tabela 1).

**Tabela 1** - População residente no Bairros das Malvinas, Campina Grande – PB.

Ano x Situação do domicílio					
2000			2010		
Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural
36457	36457	-	38713	38713	-

Fonte: IBGE – Censo Demográfico.

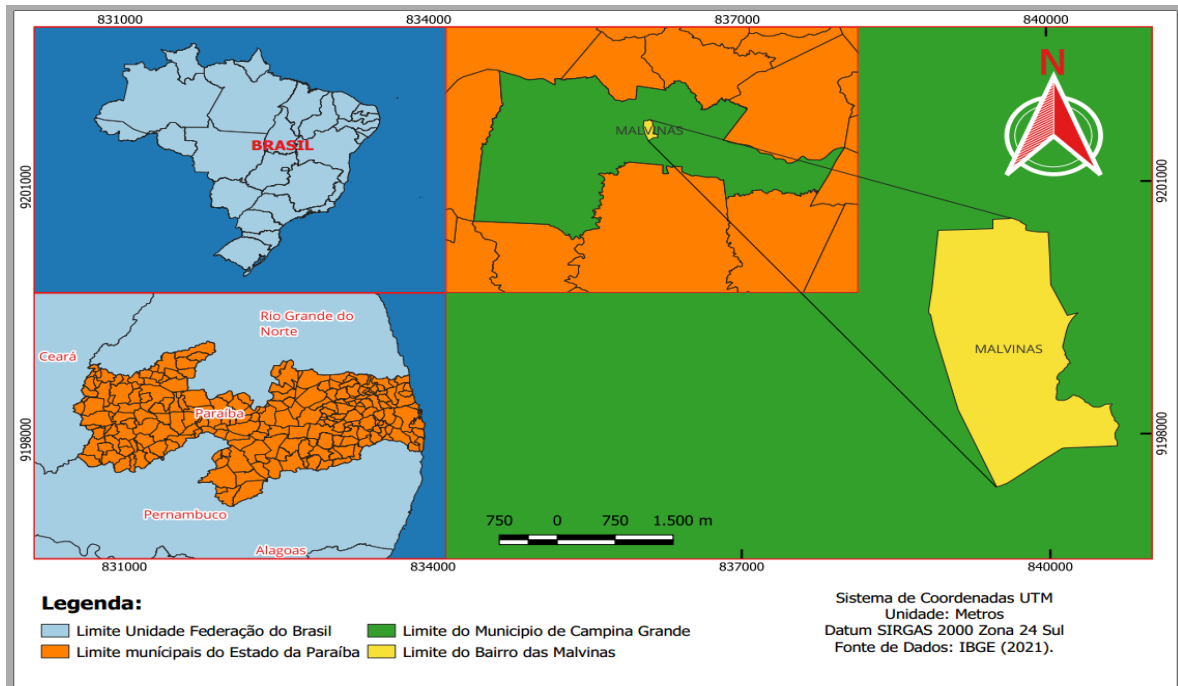
O bairro das Malvinas está localizado no espaço comercial bastante importante da cidade e considerado um dos bairros mais populosos da cidade de Campina Grande. Para

Oliveira (2017), devido do aumento do processo de reordenamento ou reestruturação urbana, que deslocou diversos serviços públicos importantes da cidade para o bairro, como o Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN), Hospital do Trauma, entre outros serviços públicos, que posteriormente garantem a expansão territorial e a atração de um grande número de pessoas, à medida que cresce o número de residências nas proximidades, além de aumentar a concentração de pontos de estabelecimentos comerciais.

Segundo Sales (2014), o centro das Malvinas considera-se como pontos comerciais importantes para os moradores dos bairros vizinhos. Ainda segundo autor, ele classificou em três elementos básicos, tais como: a localização, demandas de consumo e concentração de estabelecimento comerciais. Deste modo a localização dos pontos comerciais no bairro das Malvinas, evitando que as populações de baixa renda se desloquem para outros locais distantes, como o Centro de cidade de Campina Grande e outros pontos comerciais próximos.

Para a Oliveira (2017), o deslocamento da população do bairro das Malvinas até o Centro ainda existia, mas o número é bem reduzido, se comparando com os períodos anteriores. A autora salienta que os deslocamentos dos moradores para o Centro ou nas proximidades, ocorra para as necessidades de demandas especiais, tais como Shopping Center, agências bancárias, serviços públicos, eletrodomésticos e outras compras planejadas que não existia no bairro. A (Figura 4) mostra a localização de limites do bairro de Campina Grande e limite do bairro das Malvinas.

**Figura 4** - Localização do bairro das Malvinas

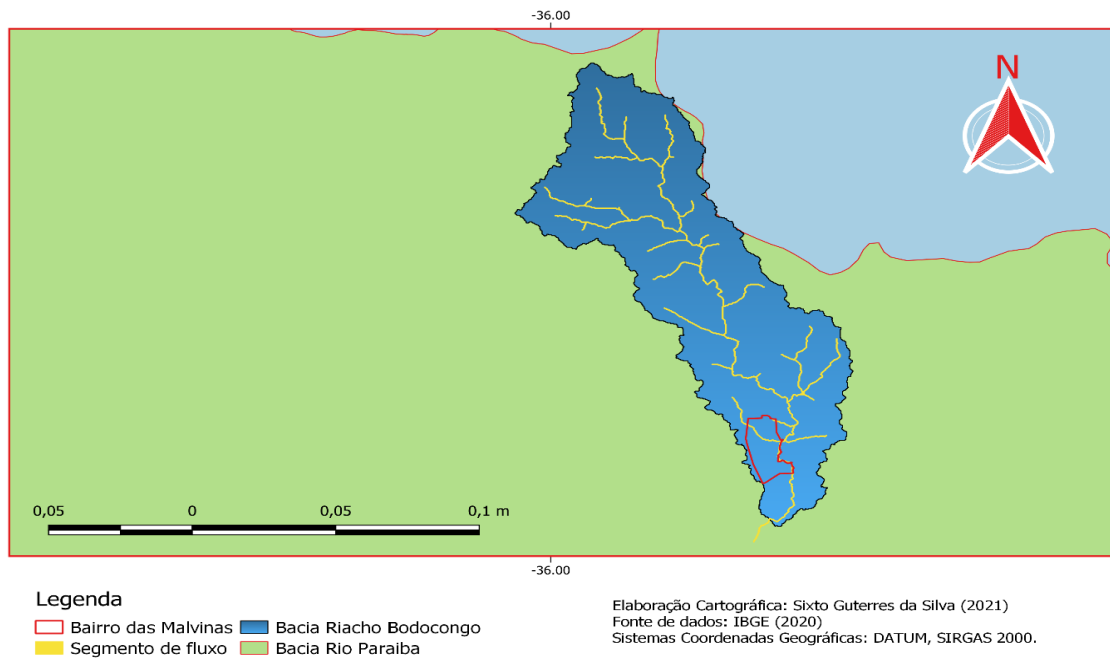


Fonte: Elaborada a partir do IBGE (2021).

A caracterização hidrológica da área de estudo conforme (Figura 5), o bairro das Malvinas está inserido dentro do Riacho Bodocongó, onde o segmento do fluxo da drenagem é direcionado.

**Figura 5** – Delimitação da bacia hidrográfica de Riacho Bodocongó

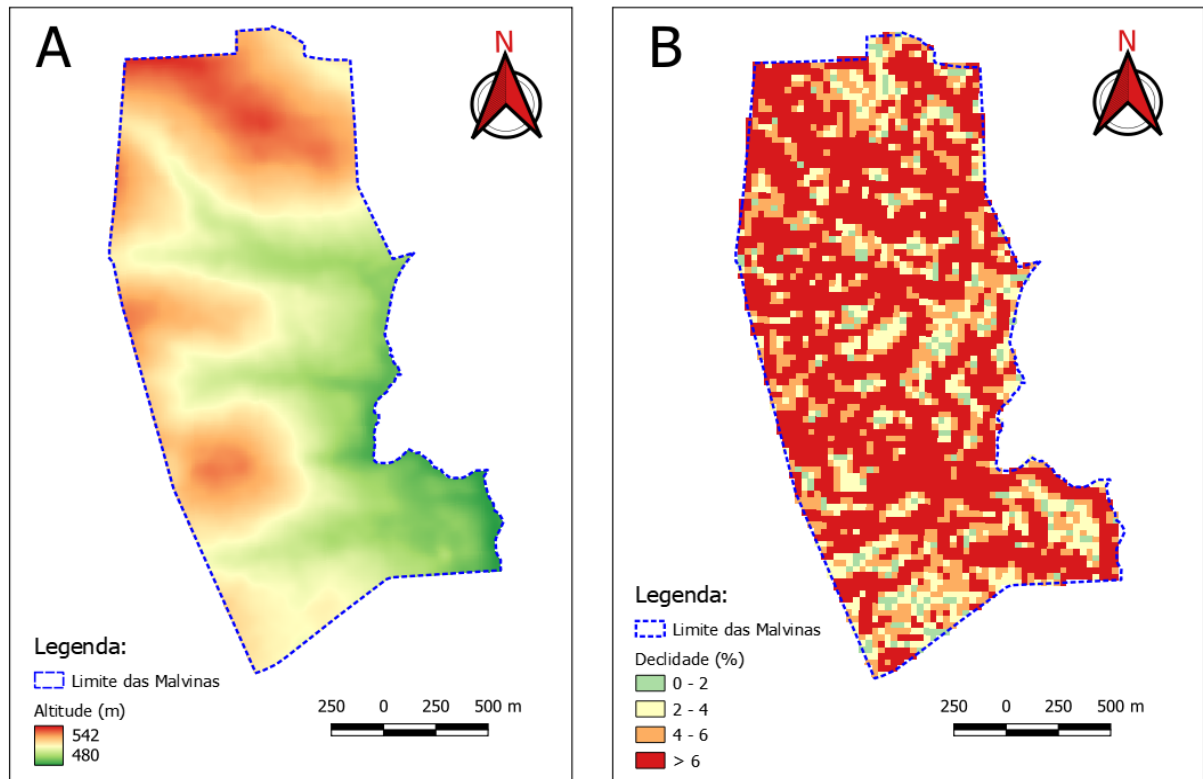
Fonte: Elaborada a partir do IBGE (2021).





As declividade e altitude da área do estudo conforme a (Figura 6).

**Figura 6** – A representação da área de estudo A) Altitude e B) Declividade (%).



Fonte: Elaborado por autor.

### 3.2 A análise do espaço no tempo da área do estudo

Na análise do espaço de tempo foi realizada uma análise multitemporal da dinâmica de ocupação do solo ao longo de diferentes cenários. Para realizar tais cenários, primeiramente foram recolhidos alguns dados sobre o uso e ocupação do solo da Cidade de Campina Grande. Então para se obter esses dados foi possível obter alguns dados através de outros autores, Souza e Santos (2015). Na (Tabela 2) mostra a índice de taxa de ocupação máxima e índice de aproveitamento permitida pela Prefeitura do município de Campina Grande (PMCG).

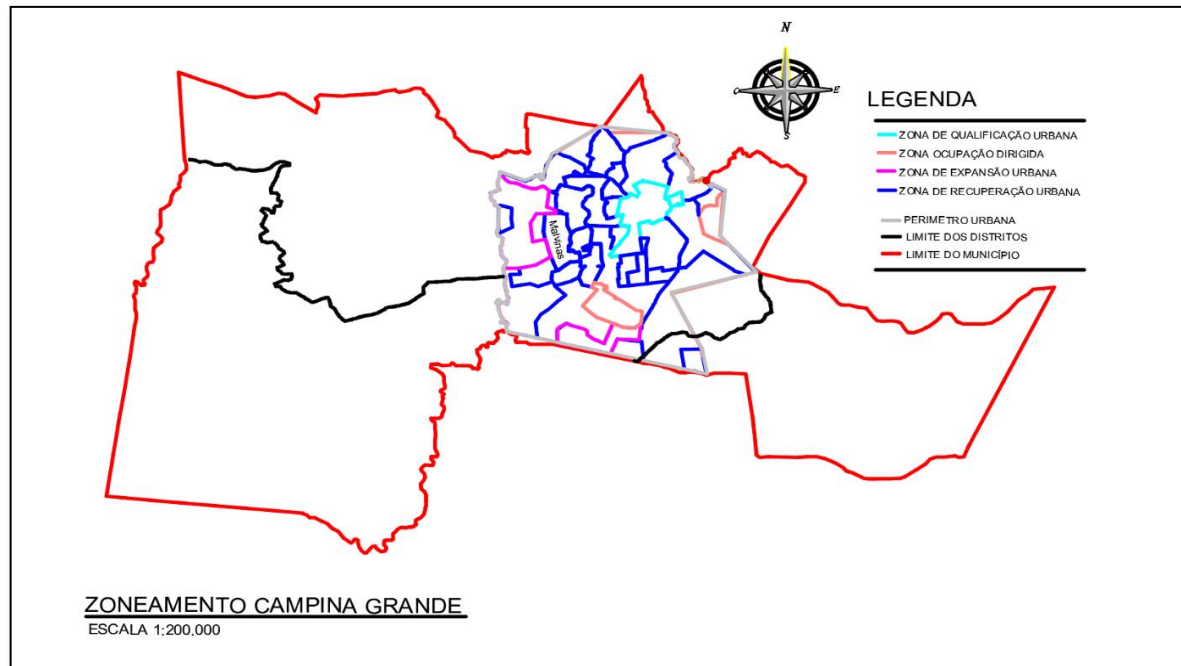
**Tabela 2** – Taxa de ocupação e índice aproveitamento do solo do município de Campina Grande.

		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 e Código de obras (2013).

**Figura 7** – Zoneamento da Cidade de Campina Grande.



Fonte: Adaptando PMCG (2006).

O bairro das Malvinas localizado dentro da área de Zona de Recuperação Urbana (ZRU), que tem uma taxa de ocupação 60%, conforme o Plano Diretor de Campina Grande (2006), e pela Lei N° 5410/13, a (ZRU) é caracterizado pelo uso predominantemente residencial, com carência de infraestrutura e equipamentos públicos e incidência de loteamentos irregulares e núcleos habitacionais de baixa renda”.

A Zona urbana do município de Campina Grande, na (Figura 8), foi reutilizada de outro autor que já fez o estudo sobre a zona urbanização da cidade de Campina Grande no ano 2010.

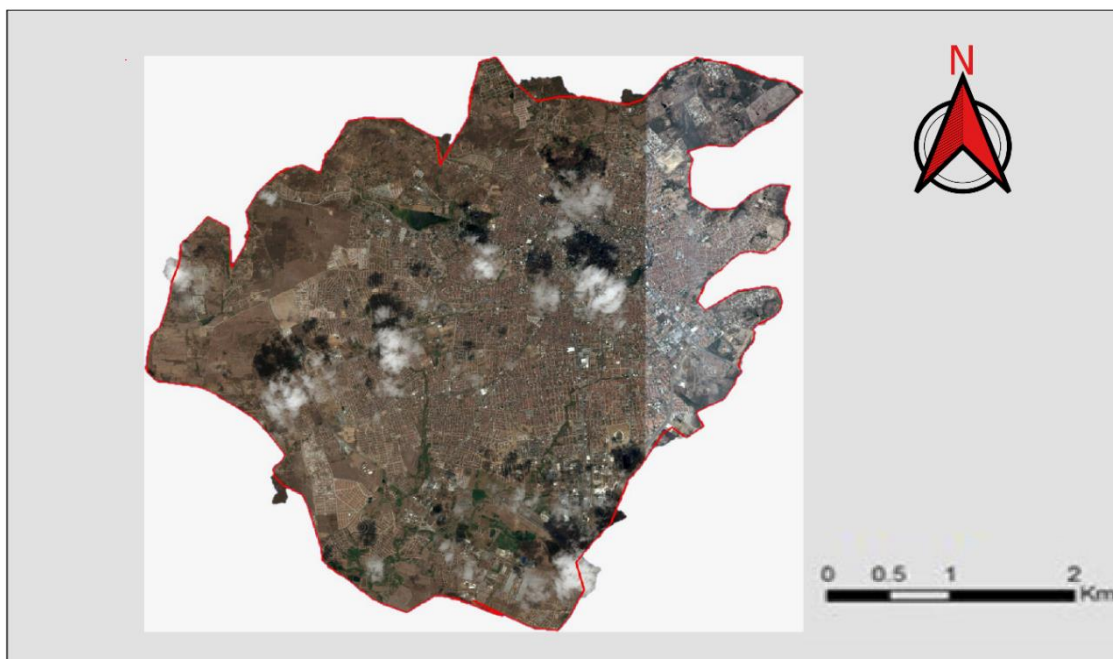
**Figura 8** - Imagem aérea de alta resolução da zona urbana de Campina Grande para o ano de 2010.



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

Zona urbana do município de Campina Grande, na (Figura 9) foi retirada através do Google Earth, ano de 2015.

**Figura 9** - Imagem aérea de alta resolução da zona urbana de Campina Grande.



Legenda

□ Limite Urbana Campina Grande 2015

Fonte: Elaborado por autor.

### 3.3 A quantificação da área permeável e impermeável do solo

3.3.1 Coleta e processamento de dados para a elaboração dos possíveis cenários de ocupação do solo por últimos 13 anos para ano de 2005, 2012 e 2018.

Para a realização de quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis do bairro escolhido, foi possível utilizar alguns softwares GIS, como o *QGIS* e o *Google Earth pro*. Então, neste caso tem-se que realizar duas etapas a seguir:

- a) 1ª etapa: realizar o processo de vetorização manual no *Google Earth Pro*, então com auxílio da ferramenta *Google Street View*, é possível visualizar e identificar as áreas necessitadas e depois na ferramenta adicionar polígono, foi possível separar as áreas ocupadas e não ocupadas.
- b) 2ª etapa: extrair a porcentagem da área impermeável em cada quadrado, que é um dos insumos do modelo hidrológico utilizado. Então, através do software como *QGIS* foi possível realizar a quantificação da impermeabilidade do solo para os três cenários diferentes.

### 3.4 A simulação hidrologia da área escolhido

Os dados para a realização da modelagem da simulação hidrológica da área escolhida, foi utilizado Software americano o *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*. Conforme a introdução do manual, o *HEC-HMS* é o Modelo de sistema de modelagem hidrológica, que foi concebida para simular o processo de transformação de chuva vazão em bacias hidrográficas.

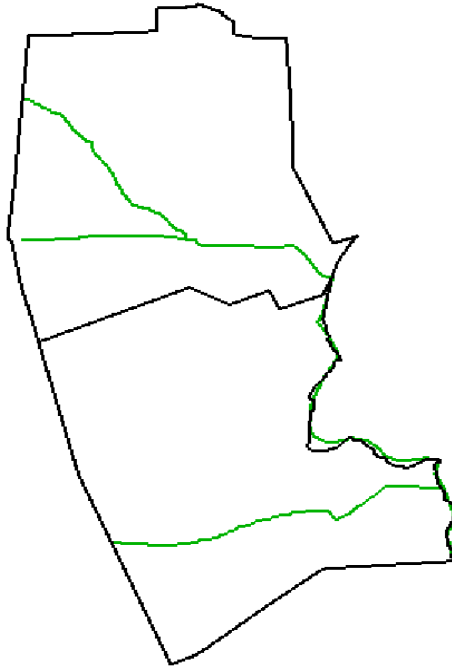
#### 3.4.1 Característica da bacia

A bacia foi dividida em duas subáreas: sub-bacia 01 e sub-bacia 02, nesta área foi feita a simulação de área impermeáveis e fez as comparações para referente áreas pros 3 cenários diferentes.

#### 3.4.2 Topologia da bacia

Na (Figura 10), mostra exemplo esquematizado de bacia dividida em duas sub-bacias e a drenagem do bairro.

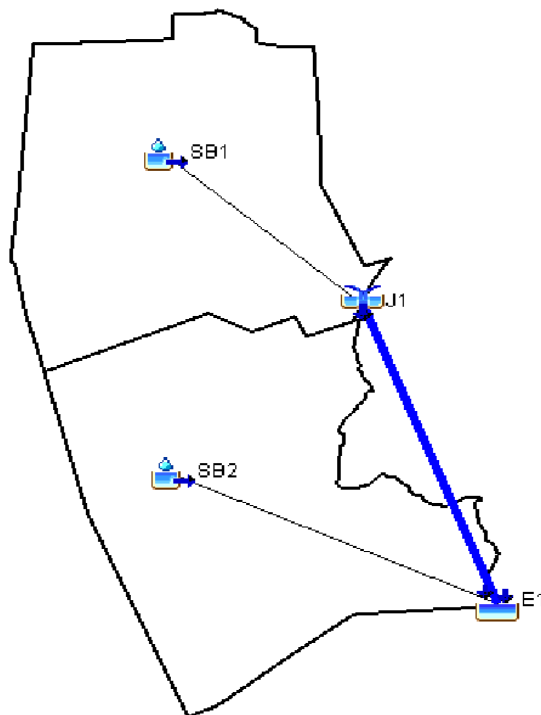
**Figura 10** - Exemplo esquemático de sub-bacias e drenagem.



Fonte: Elaborado por autor.

Na (Figura 11) mostra o esquemático das sub-bacias e os sistemas de conexões hidráulicas.

**Figura 11** - Exemplo esquemático da bacia e suas conexões hidráulicas.



Fonte: Elaborado por autor.

Para realizar a simulação, é pertinente que define os dados de entrada para Simulação hidrologia no *HEC-HMS*.

**Tabela 3** - Parâmetros necessários para simulação hidrológico de uma bacia.

PARÂMETROS	UNIDADE	SIGLAS
Área das sub-bacias	km <sup>2</sup>	A
Largura da Sub-bacia	km	W
Declividade da Sub-bacia	%	S <sub>0</sub>
Curva Número	-	CN
Área Impermeável	%	AI
Coefficiente de Rugosidade de <i>Manning</i>	-	n <sub>i</sub>
Tempo de resposta de bacia	min	t <sub>L</sub>
Abstração Inicial	mm	I <sub>a</sub>

Fonte: Elaborado por autor.

Conforme citado anteriormente, que a bacia foi dividida em duas sub-bacias. Na (Tabela 4) mostra características das sub-bacias.

**Tabela 4** - Características da sub-bacias.

Sub-bacia	A <sub>c</sub> (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>0</sub> (m)	H <sub>1</sub> (m)	ΔH(m)	S <sub>0</sub> (m/m)
1	1,65	1,95	493	518	25	0,013
2	1,84	1,56	483	510	27	0,017

Fonte: Elaborado por autor.

Onde; A<sub>c</sub>: é a área de contribuição da sub-bacia (km<sup>2</sup>); L: a extensão ou comprimento de talvegue (km); H<sub>0</sub>: Cota de base (m); H<sub>1</sub>: Cota de crista (m) e ΔH: Desnível da sub-bacia (m).

**Tabela 5** - Características do trecho de Rio.

Trecho	L <sub>r</sub> (km)	S <sub>r</sub> (cm/km)	W <sub>r</sub> (m)	Forma	Index Flow (m <sup>3</sup> /s)
1	1,874	533,62	7	Retângulo	932

Fonte: Elaborado por autor.

Onde; L<sub>r</sub>: A extensão ou comprimento do rio (km); W<sub>r</sub>: Largura do rio (m); S<sub>r</sub>: Declividade do rio (cm/km)

### 3.4.3 Sequência de dados de entrada para a simulação no HEC-HMS

As equações abaixo foram utilizadas para a realização de cálculos para a simulação hidrológico no software HEC-HMS.

#### a) Tempo de concentração (t<sub>c</sub>)

O tempo de concentração refere-se ao tempo que toda a bacia contribui ou demora para chegar no ponto mais baixo da bacia, ou seja, o exutório.

Equação:

$$t_c = 57 \times \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Onde; L: comprimento do talvegue (m);  $\Delta h$ : desnível do talvegue (m)

b) Tempo da recorrência de pico ou duração da chuva crítica ( $t_d$ )

O tempo de recorrência de pico é dependendo da hidrograma final de uma bacia ou sub-bacia, e variando de acordo com o tempo de retorno adotado. Normalmente, duração da chuva crítica é o tempo de concentração da bacia. Mas o hidrograma do método SCS, as vezes hidrograma da vazão de projeto nem sempre a própria vazão da chuva de crítica do projeto.

Equação:

$$t_d = \text{Coef.} \times t_c \quad (2)$$

c) Intensidade de chuva ( $i$ )

Como não existe a equação de intensidade da própria área de estudo, então para o cálculo de intensidade foi utilizado a equação da cidade de Campina Grande – PB, porque área de estudo está inserido no próprio município.

**Tabela 6** – Constantes do local da equação geral IDF para Campina Grande.

Estações Meteorológicas	Parâmetros da equação IDF Geral			
	K	a	b	c
Campina Grande - PB	334	0,277	5	0,596

Fonte: ARAGÃO, 1998. Adaptado por NOBREGA, 2012.

Equação:

$$i = \left( \frac{K \times t_R^a}{(t + b)^c} \right) \quad (3)$$

Onde;  $i$ : intensidade (mm/h);  $t$ : duração da chuva (em minutos);  $t_R$ : tempo de retorno (em anos); K, a, b e c: são constantes do local.

d) Precipitação Total (P)

A precipitação total é a própria coluna da chuva, ou seja, a chuva de projetos.

Equação:

$$P = i \times t_d \quad (4)$$

Onde; P: precipitação (mm);  $t_d$ : duração da chuva crítica (em minutos).

e) Distribuição de serie temporal

Distribuição de chuva por método de HUFF (1967). Como o tempo de chuva adotado ( $t_d$ ) < 6h, então escolhi o 1º Quartil para cálculo de distribuição de chuva. Neste aspecto foi dividir a precipitação total e bloquinho em passo de tempo, e depois através do resultado consegue traçar o gráfico de hietograma de HUFF. O cálculo de da coluna no passo de tempo conforme a (equação 5), e para a coluna de precipitação acumulada, conforme a (equação 6) e a precipitação no passo de tempo, conforme (equação 7).

### 5.1 O passo de tempo (t)

Equação:

$$t = t_d \times \% \text{Tempo} \quad (5)$$

Onde; %Tempo : Porcentagem de tempo;  $t_d$  : Duração total da chuva em horas.

### 5.2 Precipitação acumulada ( $P_{Acum}$ )

Equação:

$$P_{Acum} = P \times 1^\circ \text{Quartil} \quad (6)$$

Onde; P : Precipitação total; 1º Quartil: Precipitação total do primeiro quartil.

### 5.3 Precipitação no passo de tempo ( $\Delta P$ )

Equação:

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (7)$$

Onde;  $P_1$  : Precipitação acumulada inicial;  $P_2$  : Precipitação acumulada final;

### f) Tempo de resposta de bacia ( $t_L$ )

Equação:

$$t_L = 0.6 \times t_c \quad (8)$$

### g) Determinação de Curva Numero (CN).

A curva número (CN) é um parâmetro empregado para estimar a capacidade máxima de retenção do solo. O valor atribuído ao CN depende de uma série de fatores, tais como o tipo e uso do solo, a cobertura vegetal presente e as condições de umidade antecedentes do solo, e por meio de ábacos e tabelas é possível atribuir o valor apropriado para o CN (SCS, 1986).

Equação:

$$CN_{med} = \left( \frac{A_C \times A_v \times CN_{Av} + A_C \times A_u \times CN_{Au}}{A_C} \right) \quad (9)$$



Onde;  $CN_{med}$  : Curva Número média;  $A_C$  : Área total ou contribuição da bacia ( $m^2$ );  
 $A_v$  : Área verde (%) e  $A_u$  : Área Urbanizada (%).

h) Infiltração Potência máxima (S)

Equação:

$$S(\text{mm}) = 25,4 \times \left( \frac{1.000}{CN_{med}} - 10 \right) \quad (10)$$

i) Abstração Inicial ( $I_a$ )

Equação:

$$I_a = 0.2 \times S \quad (11)$$

## 4 RESULTADO E DISCUSÃO

### 4.1 A análise do uso e ocupação do solo por três cenários diferentes

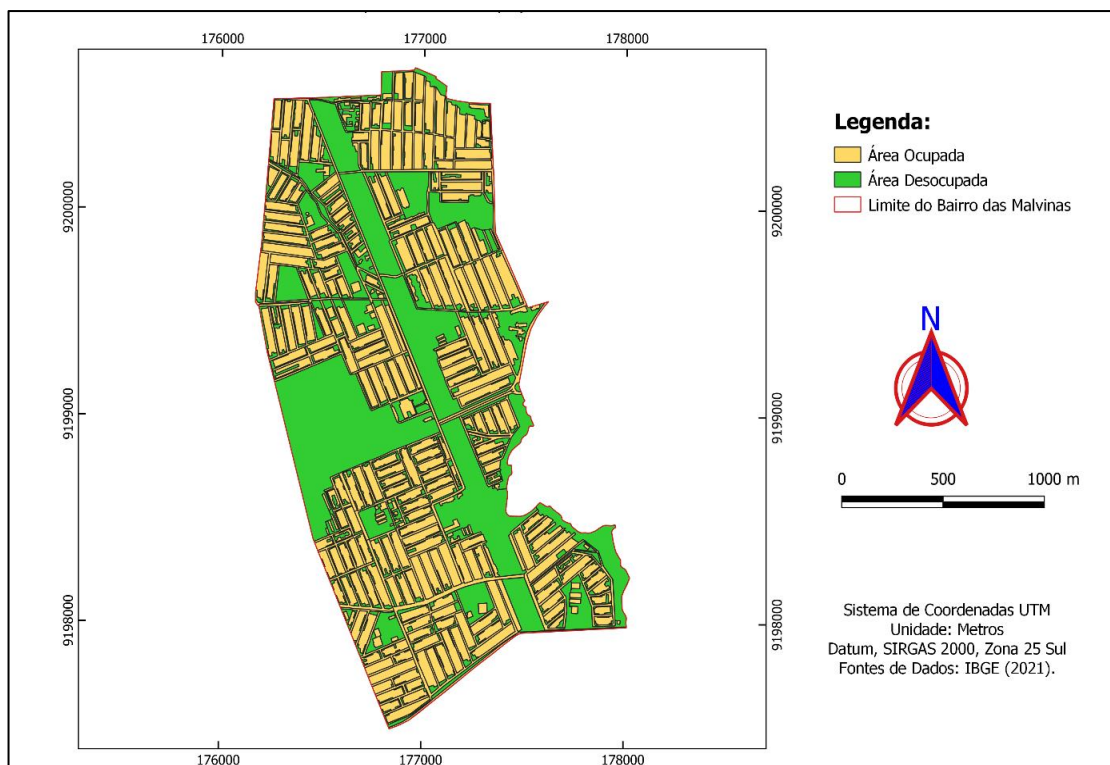
#### 4.1.1 Quantificação de área Ocupada e Desocupada do Solo

Para a quantificação do bairro das Malvinas por 3 cenários dos anos de (2005, 2012 e 2018) foram utilizadas as imagens do *Street View*, da ferramenta de *Google Earth Pro*. Desta forma, foi possível realizar o processo de vetorização das imagens dos 3 cenários citados anteriormente, e depois de recolherem dados, foram editados no software desktop QGIS da versão 3.22.13, para poder extrair área ocupada e desocupada do solo.

De acordo com os resultados dos mapas de uso e ocupação do solo, que foi gerado para a área de estudo em três cenários, foi possível analisar o processo de aceleração de ocupação que ocorreu nessa área conforme as figuras (12, 13 e 14).

Área de uso e ocupação do solo do cenário 2005, conforme figura 12.

**Figura 12** - Área de uso e ocupação do solo no ano de 2005.

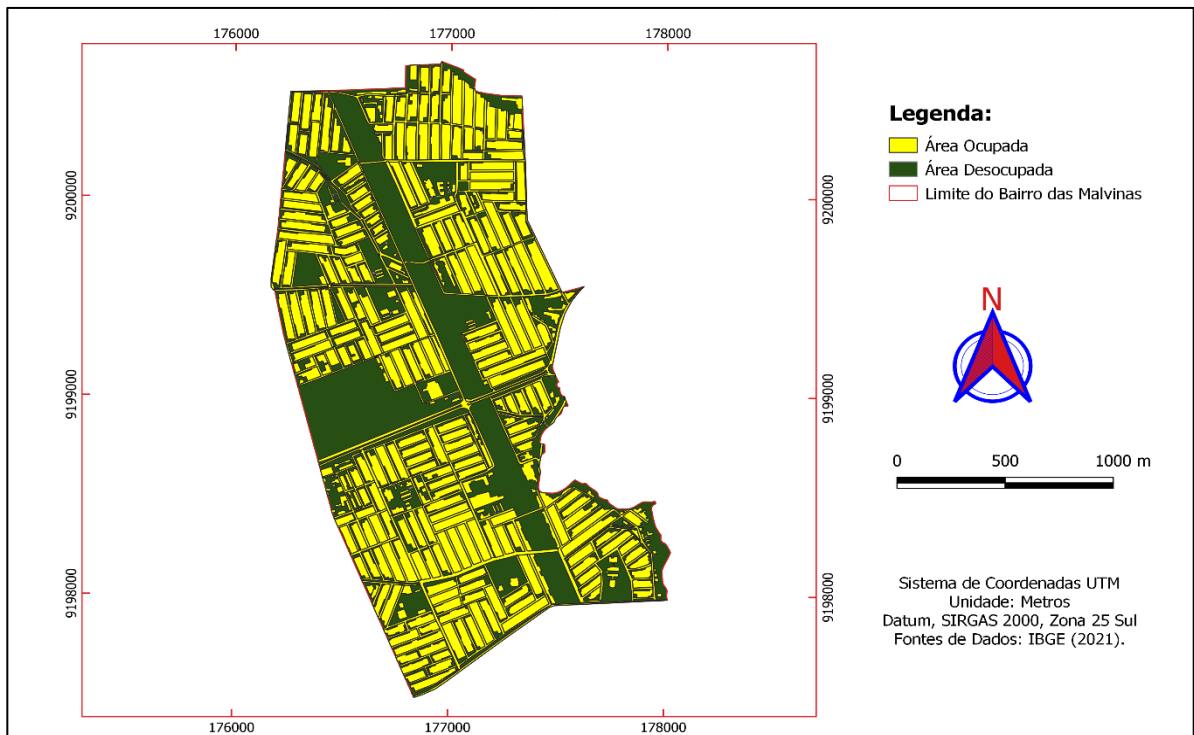


Adaptando IBGE (2021).

Fonte:

Área de uso e ocupação do solo do cenário 2005, conforme figura 13.

**Figura 13** - Área de uso e ocupação do solo para o ano de 2012.



Fonte: Adaptando IBGE (2021).

Área de uso e ocupação do solo do cenário 2005, conforme figura 14.

**Figura 14** - Área de uso e ocupação do solo para o ano de 2018.



Fonte: Adaptando IBGE (2021).

#### 4.1.2 Quantificação e análise de porcentagem da área Impermeável e Permeável do Solo.

A realização da extração da área percentual e a área impermeável (AI) e área permeável (AP) do uso e ocupação do solo no bairro de Malvinas para os três cenários, foram realizados através do software desktop QGIS da versão 3.22.13.

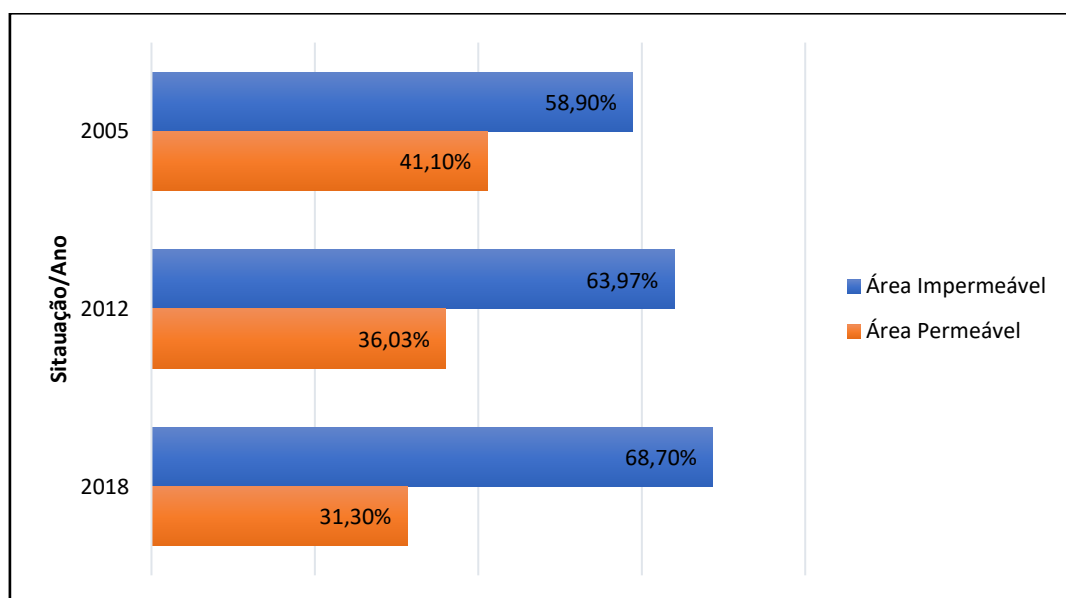
Os resultados do uso e ocupação do solo, conforme na (Tabela 7), no cenário 2005, a ocupação do solo foi moderadamente, com uma área impermeável de 58,90% e área permeável 41,10%. Após 7 anos, houve um aumento considerável na área impermeável, chegando a 63,97%, e área permeável diminuindo para 36,03% em relação ao cenário anterior. De 2012 a 2018, houve um aumento na área impermeável 68,70%, e área permeável caindo para 31,30% ao longo dos 6 anos, o que motivou aumento desses resultados foi o uso de ocupação, ou seja, a escala de pavimentação aumentou ao longo dos anos. Esse resultado foi possível através da extração das figuras 12, 13 e 14, da (seção 4.1.1) no software QGIS.

**Tabela 7 - Área de uso e ocupação do solo para o ano de 2005.**

<b>Porcentagem do UOS no ano de 2005</b>				
Área Impermeável (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Percentual (%)	
			AI (%)	AP (%)
2057574,14	1435464,86	3493039,00	58,90%	41,10%
<b>Porcentagem do UOS no ano de 2012</b>				
Área Impermeável (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Percentual (%)	
			AI (%)	AP (%)
2234612,33	1258426,67	3493039,00	63,97%	36,03%
<b>Porcentagem do UOS no ano de 2018</b>				
Área Impermeável (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Percentual (%)	
			AI (%)	AP (%)
2399868,66	1093170,34	3493039,00	68,70%	31,30%

Fonte: Elaborado por autor.

Na Figura 15 refere-se o resultado da dinâmica do uso e ocupação do solo da área de estudo para os 3 cenários. Esse crescimento vai defender do crescimento populacional da cidade, a tendencia é que daqui mais de 10 ou 15, área continuando crescendo e subindo para 70% em diante, mas isso depende muito do limite da área impermeável permitida pelo zoneamento da cidade, conforme PMCG (2006).

**Figura 15** - Situação de área permeável e impermeável para os 3 cenários no bairro de Malvinas.

Fonte: Adaptando Santos *et al.* (2014).

## 4.2 Simulação hidrológica do bairro de Malvinas por três cenários diferentes

### 4.2.1 Resultados dos dados de entrada para a simulação hidrológica dos 3 cenários

A seguir são apresentados os resultados da simulação hidrológica, sendo a primeira característica analisada, o tempo de concentração.

Tempo de concentração ( $t_c$ ). Conforme a Eq. (1)

**Tabela 8** - Tempo de concentração da sub-bacias.

Sub-bacia	L (km)	$H_0$ (m)	$H_1$ (m)	$\Delta H$ (m)	2005	2012	2018
					Tempo de concentração (min)		
1	1,95	493	518	25	35,70		
2	1,56	483	510	27	26,78		

Fonte: Elaborado por autor.

Para achar a chuva crítica em cada cenário da (Tabela 9). Conforme a Eq. (2) foi feita uma série de testes para encontrar o resultado da chuva crítica, onde valor mais crítico encontrado foi adotado como a duração da chuva de projeto. Normalmente, duração da chuva crítica é o tempo de concentração da bacia. Com o hidrograma do método SCS, não foi possível considerar o tempo de concentração igual. Essa igualdade apenas utilizada no estágio inicial do teste. Logo, o valor de duração da chuva crítica encontrado foi 1,75h, para sub-bacia 01 e 1,25h para sub-bacia 02. Esses valores  $t_d$  serão utilizados nos 3 cenários.

**Tabela 9** - A chuva crítica (td).

Sub-bacia	2005		2012		2018	
	$t_d$ (h)	$t_d$ (min)	$t_d$ (h)	$t_d$ (min)	$t_d$ (h)	$t_d$ (min)
1	1,75	105	1,75	105	1,75	105
2	1,25	75	1,25	75	1,25	75

Fonte: Elaborado por autor.

Para cálculo de intensidade da chuva e a precipitação, conforme da (Tabela 10) foi utilizado a Eq. (3) e (4).

**Tabela 10** - Intensidade de chuva (i) e Precipitação Total (P).

Sub-bacia	$A_c$ (km <sup>2</sup> )	$t_R$ (anos)	2005		2012		2018	
			i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)
1	1,65	5	31,67	55,43	31,67	55,43	31,67	55,43
2	1,84	5	38,29	47,87	38,29	47,87	38,29	47,87

Fonte: Elaborado por autor.

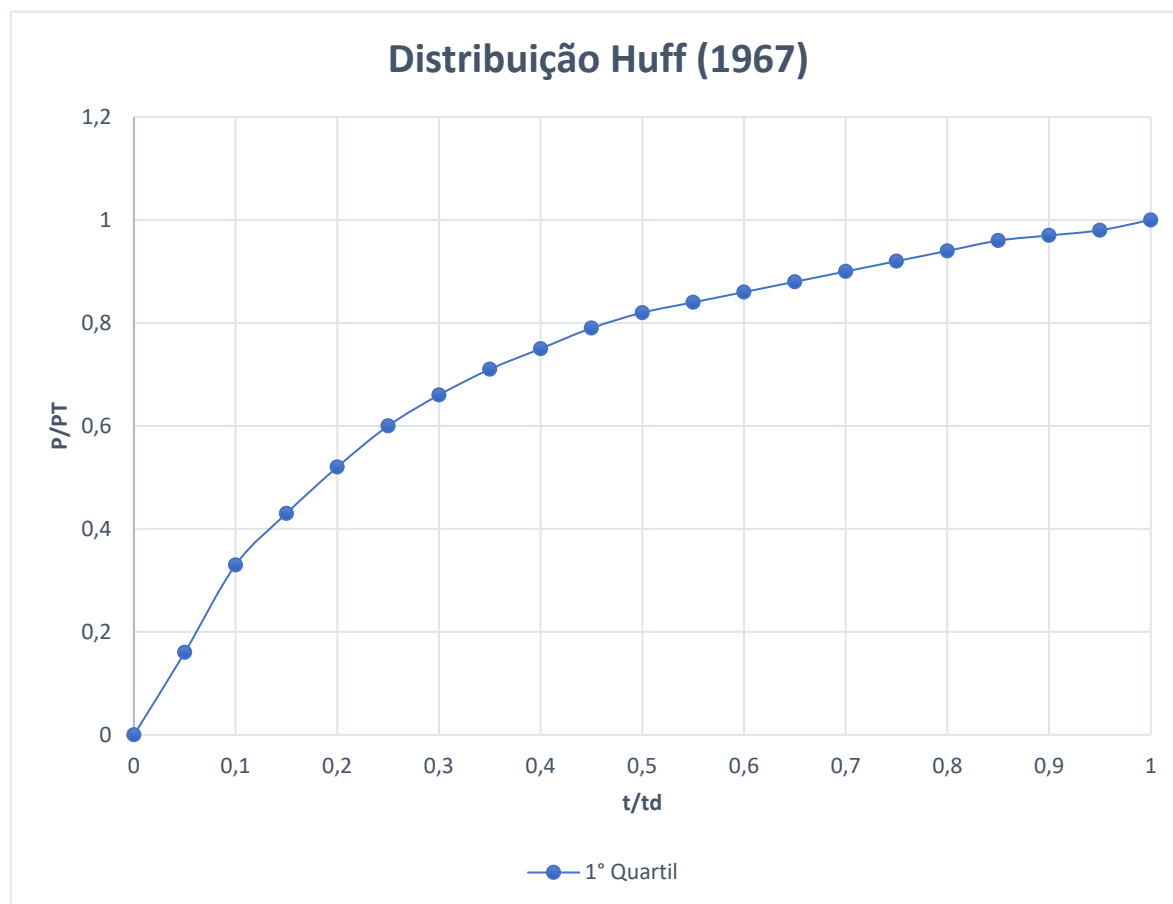
O cálculo de série temporal da chuva pelo método de HUFF, conforme a (Tabela 11), foi possível através da a Eq. (5), (6) e (7). Onde esses serão utilizados para os 3 cenários, no ano de 2005, 2012 e 2018.

**Tabela 11** - Distribuição série temporal da chuva de sub-bacias.

%Tempo	td <6h	Sub-bacia 01			Sub-bacia 02		
	1° Quartil	t (h)	P	$\Delta P$	t (h)	P	$\Delta P$
0	0	0,00	0	0,00	0,06	7,66	7,66
0,05	0,16	0,09	8,87	8,87	0,13	15,80	8,14
0,1	0,33	0,18	18,29	9,42	0,19	20,58	4,79
0,15	0,43	0,26	23,83	5,54	0,25	24,89	4,31
0,2	0,52	0,35	28,82	4,99	0,31	28,72	3,83
0,25	0,6	0,44	33,26	4,43	0,38	31,59	2,87
0,3	0,66	0,53	36,58	3,33	0,44	33,99	2,39
0,35	0,71	0,61	39,35	2,77	0,50	35,90	1,91
0,4	0,75	0,70	41,57	2,22	0,56	37,81	1,91
0,45	0,79	0,79	43,79	2,22	0,63	39,25	1,44
0,5	0,82	0,88	45,45	1,66	0,69	40,21	0,96
0,55	0,84	0,96	46,56	1,11	0,75	41,16	0,96
0,6	0,86	1,05	47,67	1,11	0,81	42,12	0,96
0,65	0,88	1,14	48,78	1,11	0,88	43,08	0,96
0,7	0,9	1,23	49,89	1,11	0,94	44,04	0,96
0,75	0,92	1,31	50,99	1,11	1,00	44,99	0,96
0,8	0,94	1,40	52,10	1,11	1,06	45,95	0,96
0,85	0,96	1,49	53,21	1,11	1,13	46,43	0,48
0,9	0,97	1,58	53,77	0,55	1,19	46,91	0,48
0,95	0,98	1,66	54,32	0,55	1,25	47,87	0,96
1	1	1,75	55,43	1,11	0,06	7,66	7,66

Fonte: Elaborado por autor.

A seguir apresenta a curva de distribuição de HUFF da sub-bacias. O eixo X é a precipitação do 1°quartil, o eixo Y é a porcentagem do tempo. Onde essa curva de 1°quartil será reutilizada para os demais cenários, conforme (Figura 16).

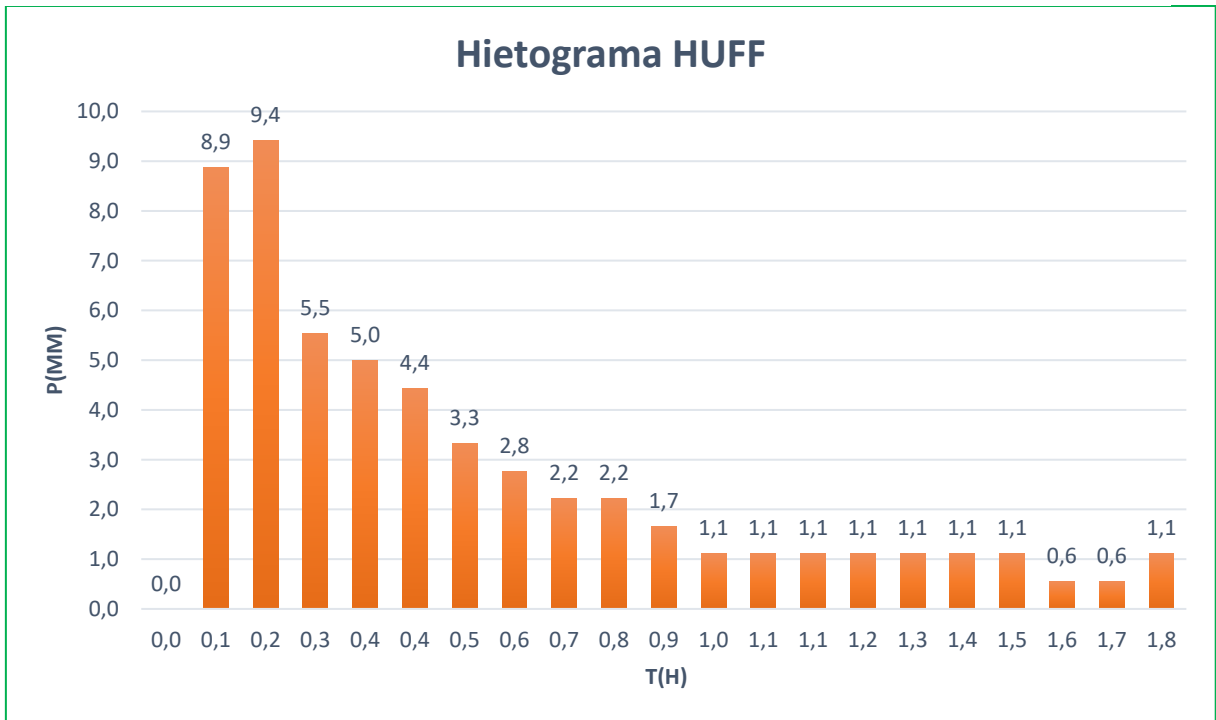
**Figura 16** - Curva de distribuição de HUFF da sub-bacia 01 e 02.

Fonte: Elaborado por autor.

As (Figuras 17 e 18) a seguir apresentam os hietogramas de HUFF das sub-bacias. O eixo X é a duração da chuva no passo de tempo, e eixo Y é a precipitação acumulada. Onde esses hietogramas serão reutilizadas para os demais cenários, devido à mesma duração da chuva de projeto (t).

O hietograma de HUFF da sub-bacia 01, conforme mostrada na figura 17.

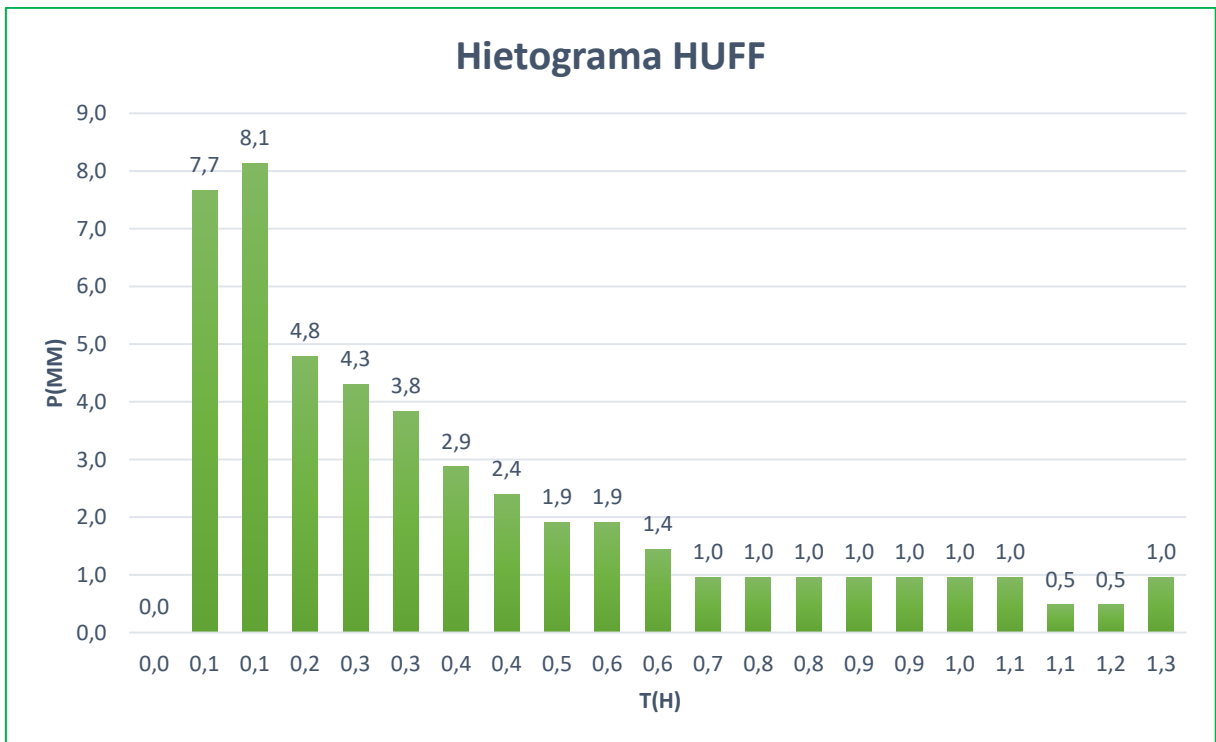
**Figura 17** - Hietograma de HUFF da sub-bacia 01.



Fonte: Elaborado por autor.

O hietograma de HUFF da sub-bacia 02, conforme mostrada na figura 18.

**Figura 18** - Hietograma de HUFF da sub-bacia 02.



Fonte: Elaborado por autor.



O tempo de resposta (Tabela 12), conforme a Eq. (8) mostra que esse resultado varia de acordo com o tempo de concentração de cada sub-bacias.

**Tabela 12** - Tempo de resposta das sub-bacias.

Sub-bacia	2005		2012		2018	
	t <sub>c</sub> (min)	t <sub>L</sub> (min)	t <sub>c</sub> (min)	t <sub>L</sub> (min)	t <sub>c</sub> (min)	t <sub>L</sub> (min)
1	35,70	21,42	35,70	21,42	35,70	21,42
2	26,78	16,07	26,78	16,07	26,78	16,07

Fonte: Elaborado por autor.

Para obter o resultado de Curva Número média (Tabela 13), foi utilizada a Eq. (9). Os dados iniciais de CN foi escolhido através de Grupo hidrológico do solo, onde área de estudo a maior parte está inserido no grupo C, conforme estudo feito pelo (TSUYUGUCHI, 2015). Como o bairro está predominantemente de uso residencial o CN: 90, para uso do solo de área urbanizado o lote de tamanho médio até 500m<sup>2</sup>. Para uso do solo de área verde CN:71, como campos de boas condições.

**Tabela 13** - Resultado de Curva Número.

Uso do solo	2015			2012			2018		
	%	CN	CN <sub>med</sub>	%	CN	CN <sub>med</sub>	%	CN	CN <sub>med</sub>
Verde	41,10	71	82,19	36,03	71	83,15	31,30	71	84,05
Urbanizado	58,90	90		63,97	90		68,70	90	

Fonte: Elaborado por autor.

O cálculo de Infiltração Potencial máxima e Abstração inicial (Tabela 14), conforme Eq. (10) e (11).

**Tabela 14** - Infiltração Potencial máxima (S) e Abstração inicial (Ia).

Sub-bacia	2015		2012		2018	
	S(mm)	Ia(mm)	S(mm)	Ia (mm)	S(mm)	Ia(mm)
1	55,04	11,01	51,46	10,29	48,19	9,64
2	55,04	11,01	51,46	10,29	48,19	9,64

Fonte: Elaborado por autor.

Onde; Ia: Abstração Inicial; S: Infiltração Potencial máxima. Este resultado de cálculo varia de acordo com o uso e ocupação de solo, onde o S está relacionada diretamente o valor do CN, quando maior for o CN, o valor de S será menor. O resultado de abstração inicial (Ia) é a 20% do valor do Infiltração Potencial máxima (S) calculado.

4.2.2 Simulação da área de estudo para situação da urbanização nos cenários: 2005, 2012 e 2018. Para o tempo de retorno  $t_R = 5$  anos.

Os valores adotados na simulação de 3 cenários, o intervalo de controle de 5 minutos, a duração da chuva para sub-bacia 01, o ( $t=1,75h$ ), e sub-bacia 02, o ( $t=1,25h$ ).

#### 4.1.1.1 Resultado da simulação para o cenário de 2005.

O resultado da simulação do cenário 2005 mostrados na (Tabela 15 e 16). Percebe-se que os tempos que constam nas tabelas se referem aos tempos de pico da vazão.

A quantidade de volume precipitado nas sub-bacias, conforme tabela 15.

**Tabela 15** - Precipitação na sub-bacia 1 e 2.

Sub-bacia	Tempo de pico (min)	Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume precipitado (mm)	Perda de volume (mm)	Excesso de volume (mm)	Volume escoado direto (mm)	Volume de base (mm)	Volume de saída (mm)
1	40	17,3	55,43	14,63	40,8	40,8	0	40,8
2	30	20,7	47,89	13,6	34,29	34,29	0	34,29

Fonte: Elaborado por autor.

A quantidade de volume precipitado e escoando na junção (J1) até exutório de saída (E1), conforme tabela 16.

**Tabela 16** - Quantidade de volume e vazões escoando na J1 até E1.

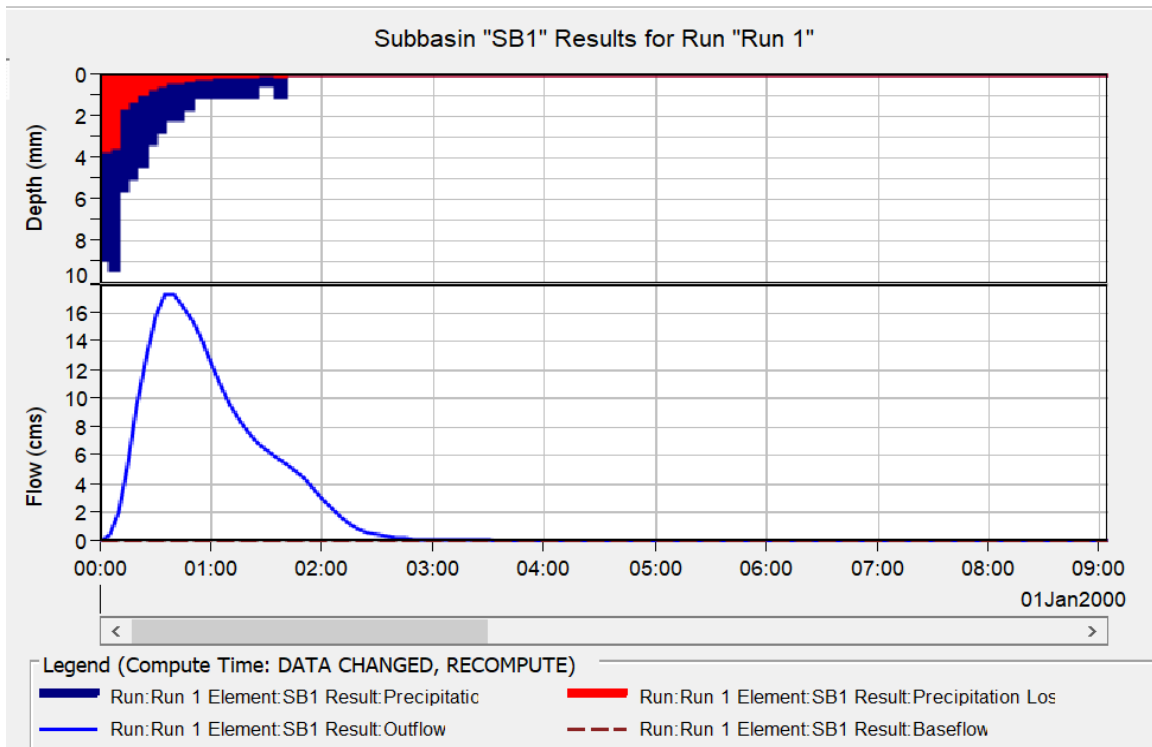
Junção 1 – Tempo (40min)		Rio 1 – Tempo (40min)				Exutório 1 -Tempo (35min)	
Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume (mm)	Q.de entrada	Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume de entrada (mm)	Volume de saída (mm)	Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume de saída (mm)
17,3	40,8	17,3	17,3	40,8	40,83	35,8	37,38

Fonte: Elaborado por autor.

No cenário de 2005 a urbanização, 58,90% da área é impermeável, resultados da simulação no *HEC-HMS* conforme as figuras (19 até 23).

Na sub-bacia 01 (SB1), o volume precipitado foi 55,43mm, e o volume total que escoou para junção 1 (J1) e chega no rio 1 (R1), é 40,8mm, em um tempo de pico 40 minutos, e a diferença é a perda da chuva. A vazão de pico na SB1 é 17,3 m<sup>3</sup>/s, conforme figura 19.

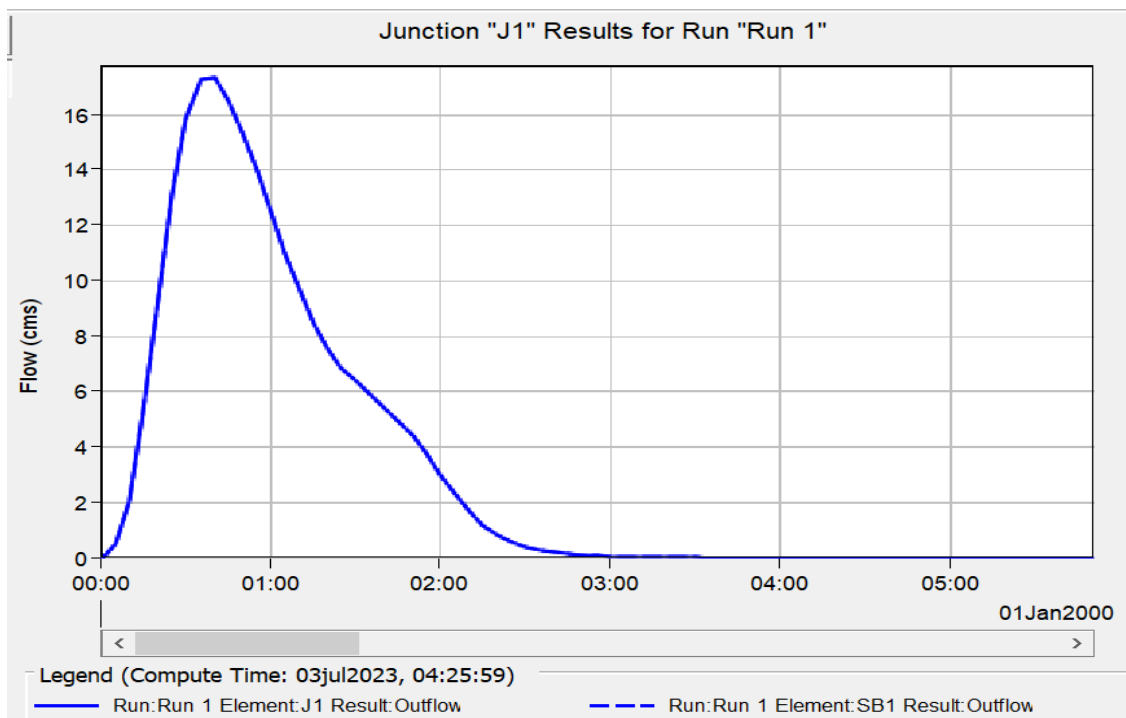
**Figura 19** - Situação do hidrograma de escoamento na SB1.



Fonte: Elaborado por autor.

A vazão de pico na junção 1 (J1) foi 17,3 m<sup>3</sup>/s como hidrograma de saída da sub-bacia 01 (SB1), com duração do tempo de pico 40 minutos, conforme figura 20.

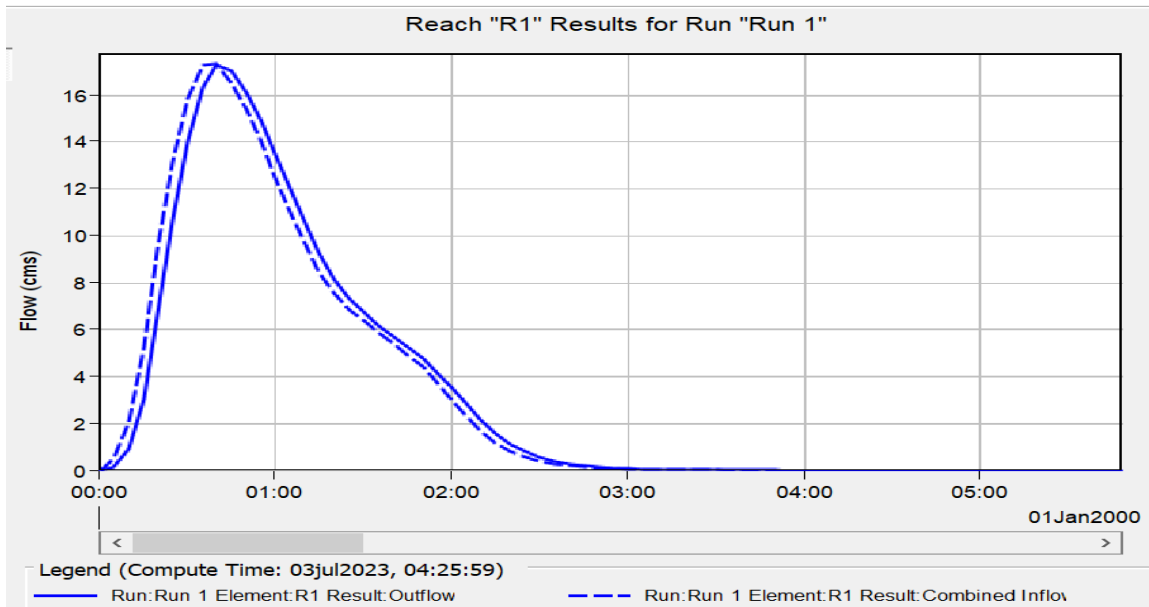
**Figura 20** - Situação de escoamento de saída na J1.



Fonte: Elaborado por autor.

A vazão de pico de entrada e saída no rio 1 (R1) foi 17,3 m<sup>3</sup>/s, com duração do tempo de pico 40 minutos, conforme figura 21.

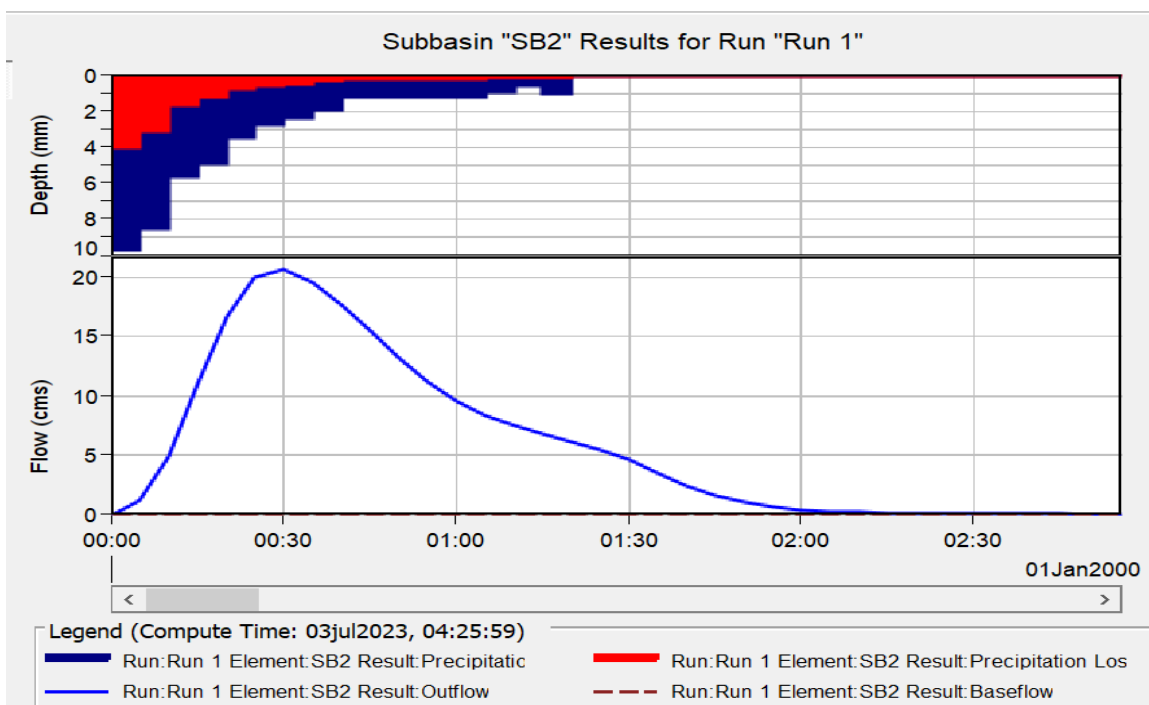
**Figura 21** - Situação de escoamento de entrada e saída no trecho do R1.



Fonte: Elaborado por autor.

O volume precipitado na sub-bacia 02 (SB2) é 47,89mm, e o volume total que escoo para exutório 1 (E1) é 34,29mm, e a diferença é a perda da chuva. A duração do tempo de pico 30 minutos, de acordo com a figura 22.

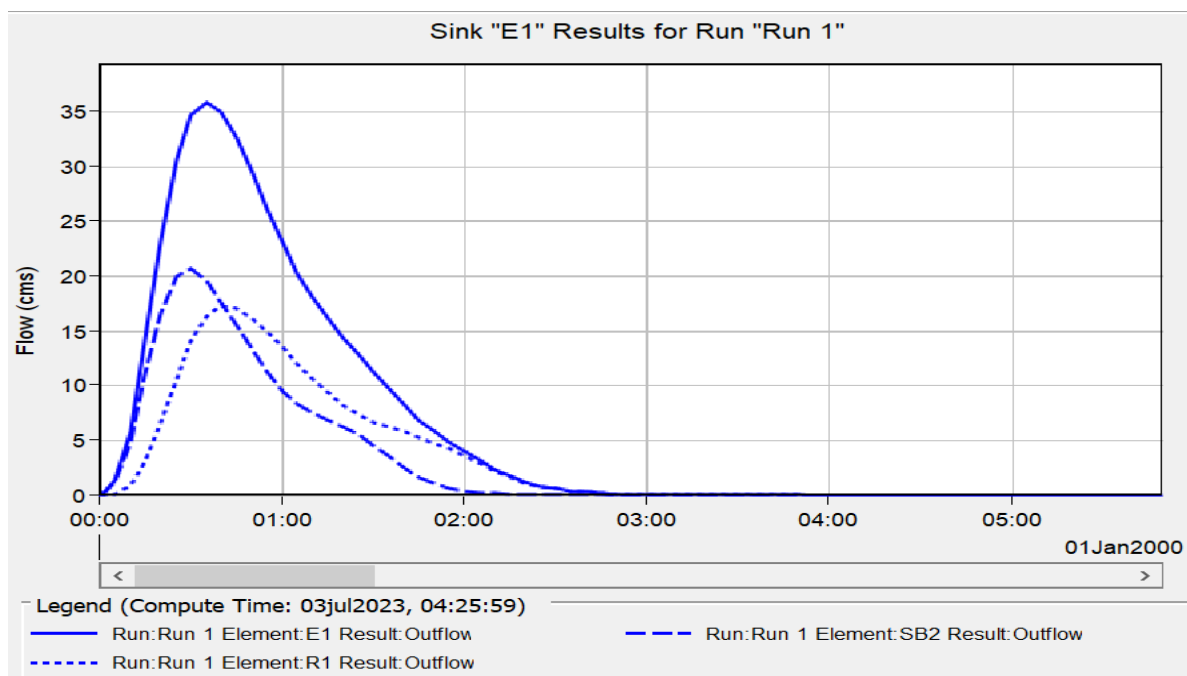
**Figura 22** - Situação do hidrograma de escoamento na SB2.



Fonte: Elaborado por autor.

O resultado da vazão de pico total na saída do exutório 1 (E1) foi 35,80m<sup>3</sup>/s. A duração do tempo de pico 30 minutos, conforme a figura 23.

**Figura 23** - Situação acumulada de escoamento de entrada e saída no E1.



Fonte: Elaborado por autor.

#### 4.1.1.2 Resultado de simulação para o cenário de 2012

O resultado da simulação para o cenário 2012 são apresentados nas Tabelas (17 e 18). Os tempos que constam na tabela se referem ao tempo de pico da vazão.

**Tabela 17** - Precipitação na sub-bacia 1 e 2.

Sub-bacia	Tempo de pico (min)	Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume precipitado (mm)	Perda de volume (mm)	Excesso de volume (mm)	Volume escoado direto (mm)	Volume de base (mm)	Volume de saída (mm)
1	35	18,5	55,43	12,37	43,06	43,06	0	43,06
2	30	22,2	47,89	11,54	36,35	36,35	0	36,35

Fonte: Elaborado por autor.

**Tabela 18** - Quantidade volume e vazões escoando na junção 1 até exutório1.

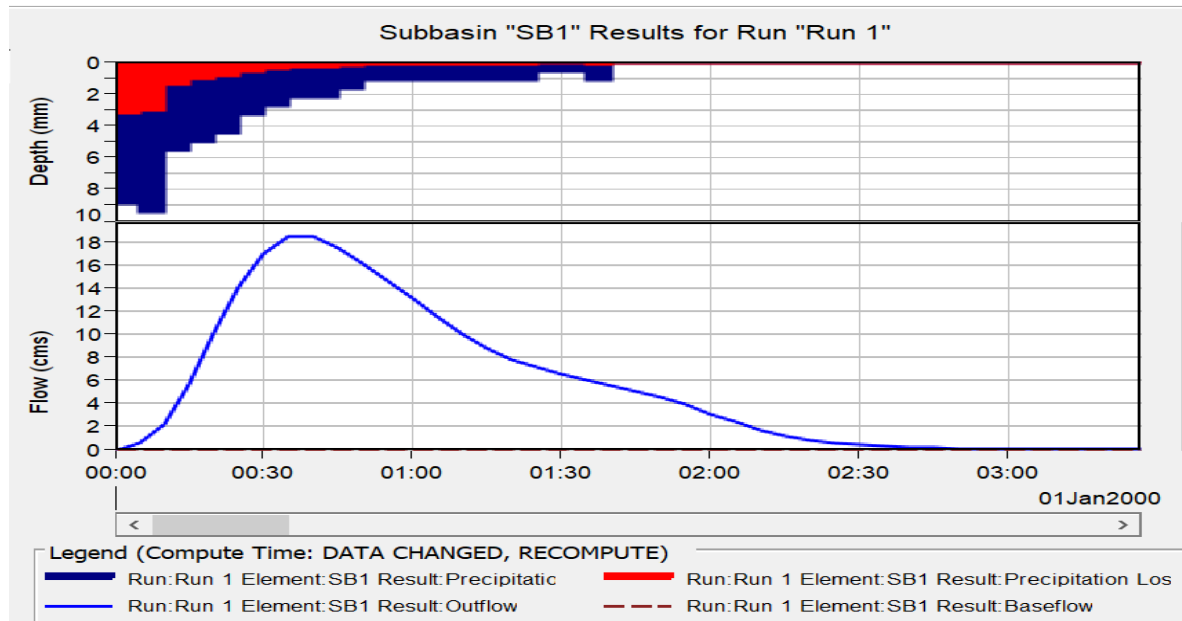
Junção 1 – Tempo (35min)		Rio 1 – Tempo (40min)				Exutório 1 -Tempo (35min)	
Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume (mm)	Q.de entrada	Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume de entrada (mm)	Volume de saída (mm)	Q.de pico (m <sup>3</sup> /s)	Volume de saída (mm)
18,5	43,06	18,5	18,5	43,06	43,09	38,3	39,54

Fonte: Elaborado por autor.

No cenário de 2012 a urbanização aumentou para 63,97% da área impermeável no período de 7 anos, em relação ao ano anterior.

Na sub-bacia 01 (SB1), o volume precipitado 55,43mm e o volume total que escoava para junção 1 (J1) e chega no rio 1 (R1), é 43,06mm, em um tempo de pico 35 minutos, conforme a figura 24.

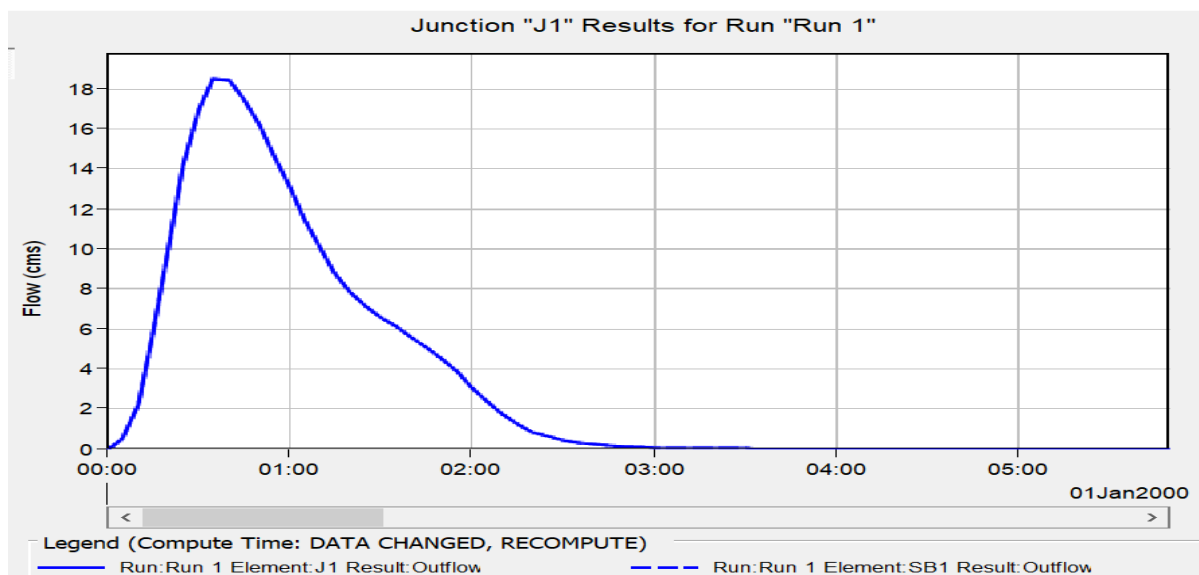
**Figura 24** - Situação do hidrograma de escoamento na SB1.



Fonte: Elaborado por autor.

A vazão de pico na junção 1 (J1) foi 18,5 m<sup>3</sup>/s como hidrograma de saída da sub-bacia 01. A duração do tempo de pico 35 minutos, conforme figura 25.

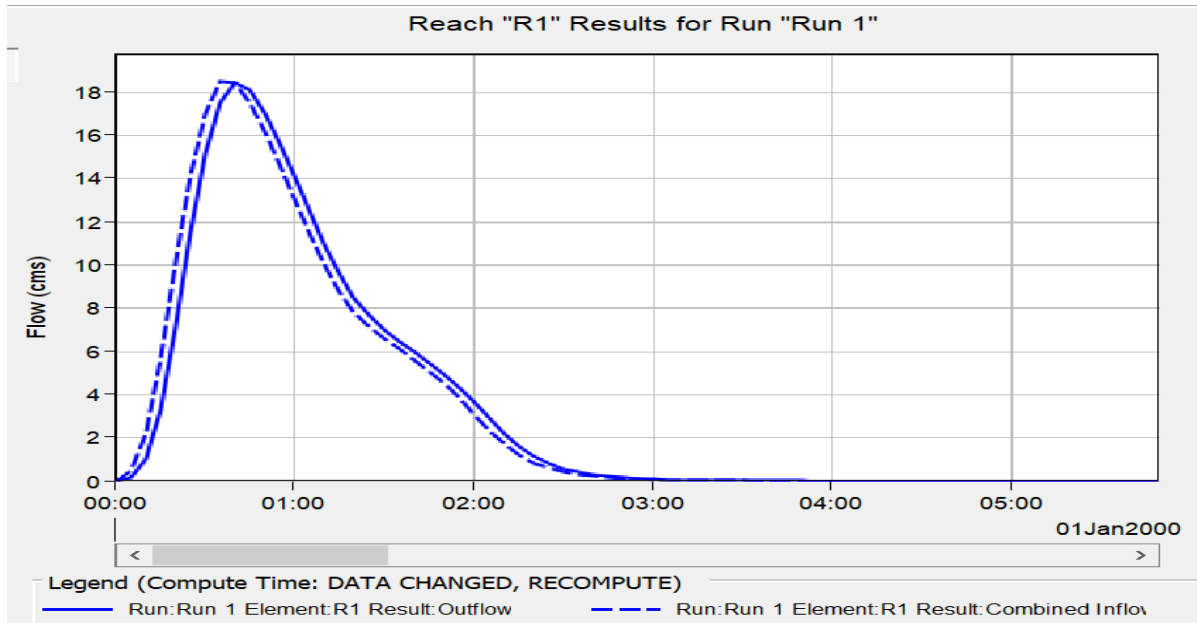
**Figura 25** - Situação de escoamento de saída na J1.



Fonte: Elaborado por autor.

A vazão de pico de entrada e saída no rio 1 (R1) foi 18,5 m<sup>3</sup>/s, com duração do tempo de pico 40 minutos, conforme figura 26.

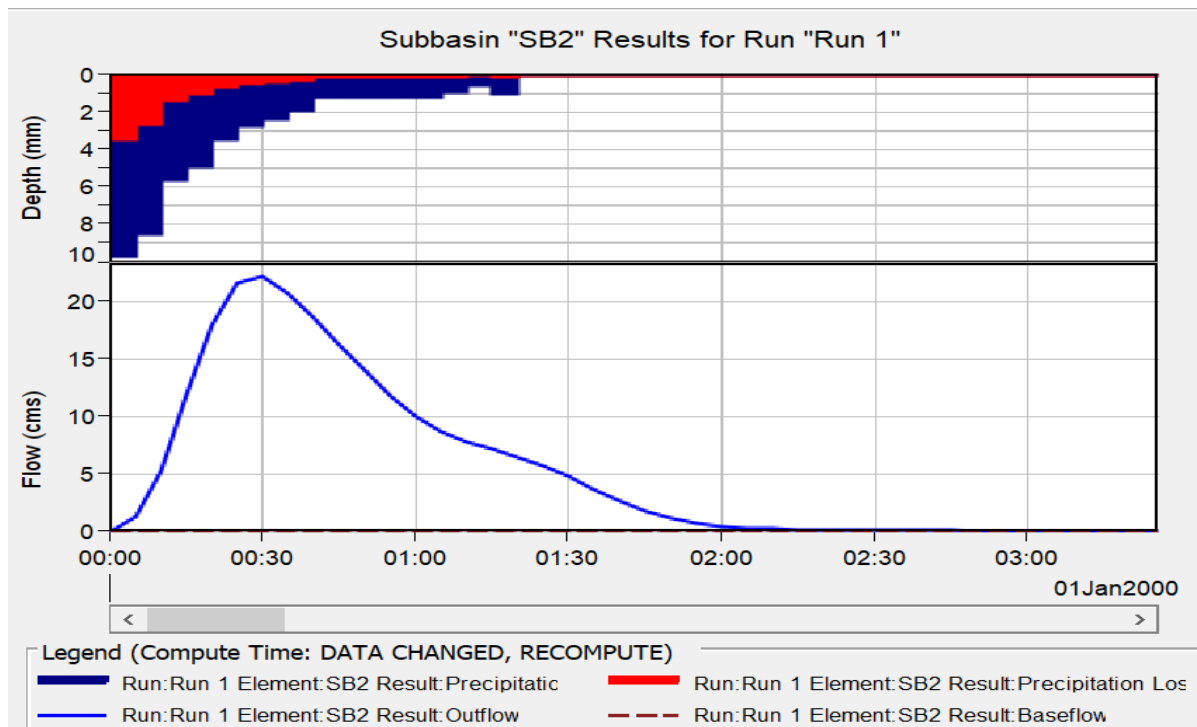
**Figura 26** - Situação de escoamento de entrada e saída no trecho do R1.



Fonte: Elaborado por autor.

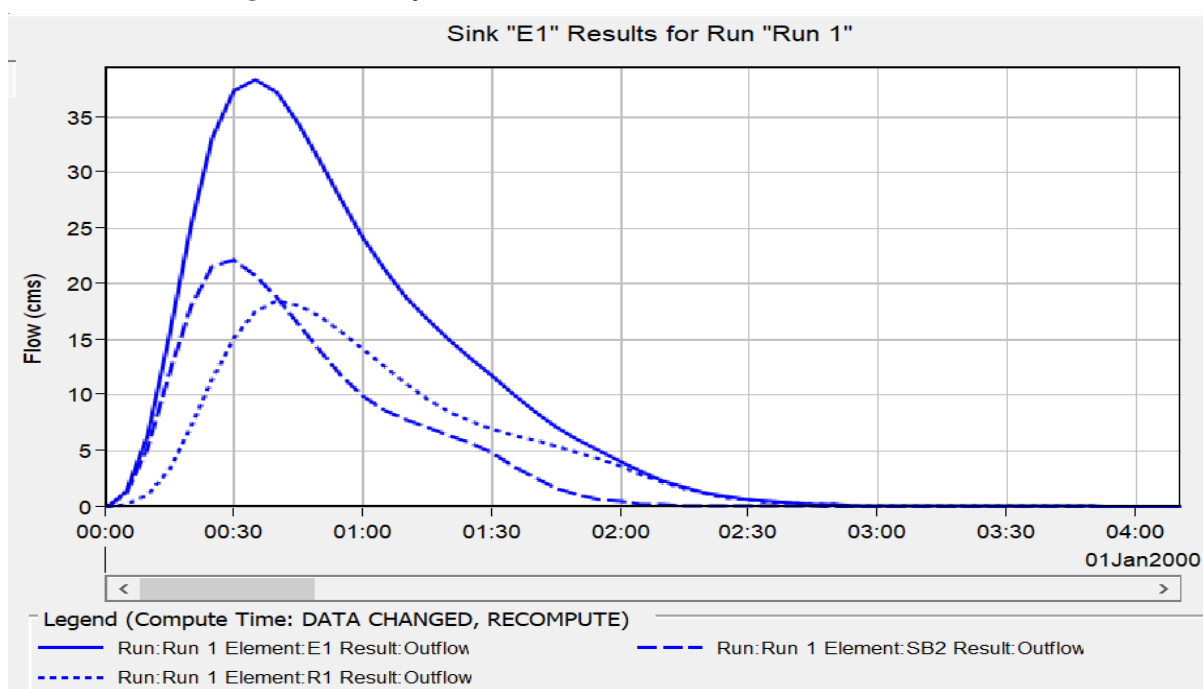
O volume precipitado na sub-bacia 02 (SB2) é 47,89mm, e o volume total que escoo para exutório 1 (E1) é 36,35mm, e a diferença é a perda da chuva, num tempo de pico 30 minutos, conforme figura 27.

**Figura 27** - Situação do hidrograma de escoamento na SB2.



Fonte: Elaborado por autor.

O resultado da vazão de pico total na saída do exutório 1 (E1) foi 38,30m<sup>3</sup>/s. A duração do tempo de pico 35 minutos, conforme a figura 28.

**Figura 28** - Situação acumulada de escoamento de entrada e saída no E1.

Fonte: Elaborado por autor.

É importante ressaltar que o aumento da área impermeável tem um impacto significativo no volume escoado ao longo do trecho do rio 1, assim como nos pontos de junção 1 e exutório 1. Nessas localidades, observou-se um aumento considerável no volume escoado e na vazão máxima de pico, embora tenham apresentado uma duração do tempo de pico igual à do cenário de 2005, ambos variam entre 35 a 40 minutos. Porém, a vazão de pico é superior, ou seja,  $2,5\text{m}^3/\text{s}$  a mais do anterior, o que contribui muito e facilita o cenário de 2012, foi a menor disponibilidade da permeabilidade do solo. Isso faz com que água que precipitou na bacia escoasse mais rápido superficialmente e tenha maior contribuição de volume na chegada do exutório de saída.

#### 4.1.1.3 Resultado da simulação para o cenário de 2018

O resultado da simulação para o cenário 2018 apresenta-se nas Tabelas (19 e 20). Os tempos que constam nas tabelas se referem ao tempo de pico da vazão.

**Tabela 19** - Precipitação na sub-bacia 1 e 2.

Sub-bacia	Tempo de pico (min)	Q.de pico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Volume precipitado (mm)	Perda de volume (mm)	Excesso de volume (mm)	Volume escoado direto (mm)	Volume de base (mm)	Volume de saída (mm)
1	35	19,6	55,43	10,37	45,06	45,06	0	45,06
2	30	23,5	47,89	9,69	38,20	38,20	0	38,20

Fonte: Elaborado por autor.



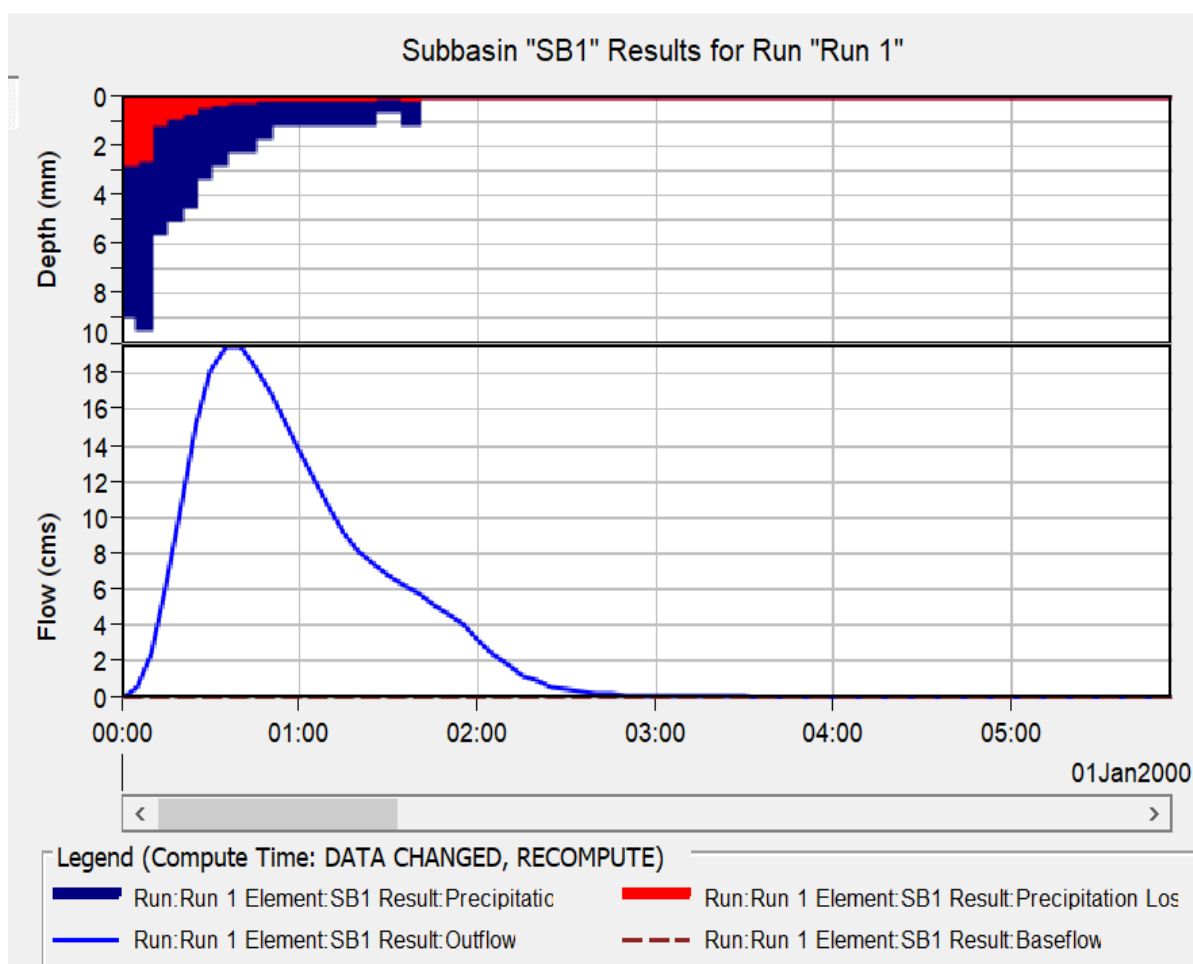
**Tabela 20** - Quantidade volume e vazões escoando na junção 1 até exutório1.

Junção 1 – Tempo (35min)		Rio 1 – Tempo (40min)				Exutório 1 -Tempo (35min)	
Q.de pico (m³/s)	Volume (mm)	Q.de entrada	Q.de pico (m³/s)	Volume de entrada (mm)	Volume de saída (mm)	Q.de pico (m³/s)	Volume de saída (mm)
19,6	45,06	19,6	19,5	45,06	45,10	40,60	41,46

Fonte: Elaborado por autor.

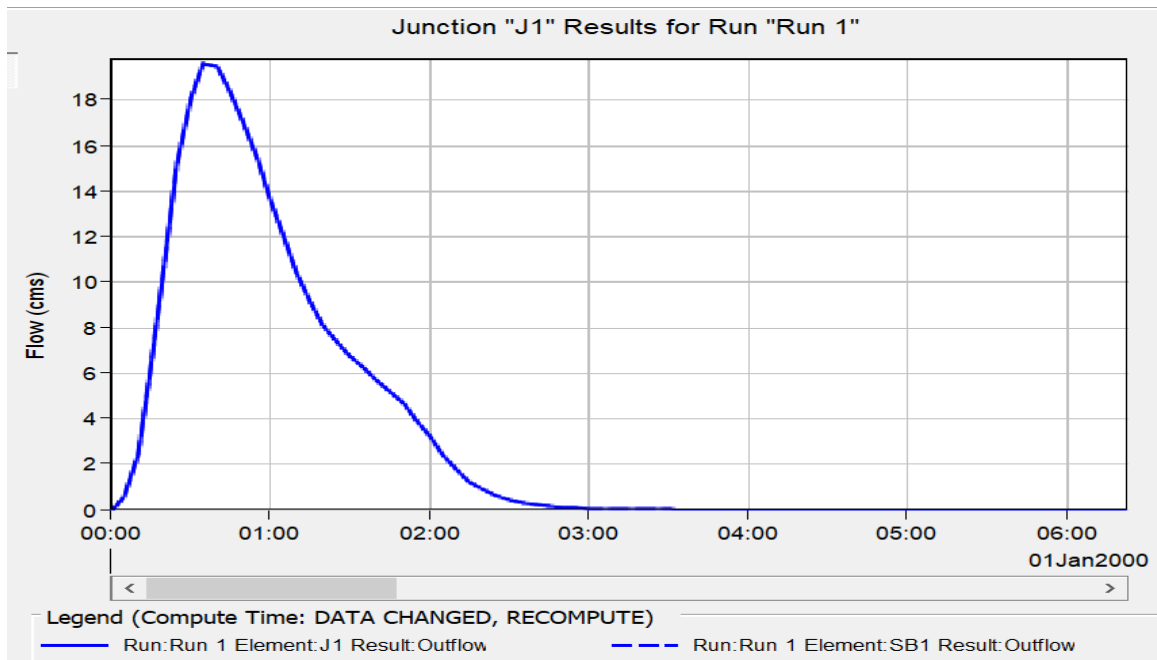
No último cenário de 2018 a urbanização, era 68,70% da área impermeável. Nas sub-bacias o volume precipitado são as mesmas nos 2 cenários anteriores.

Na sub-bacia 01 (SB1) o volume total que chega na junção 1 (J1), é 45,06mm, em um tempo de pico 35 minutos, e a diferença de volume escoado é de 2,0 mm em relação ao ano 2012. A vazão de pico 19,6m³/s, conforme a figura 29.

**Figura 29** - Situação do hidrograma de escoamento na SB1.

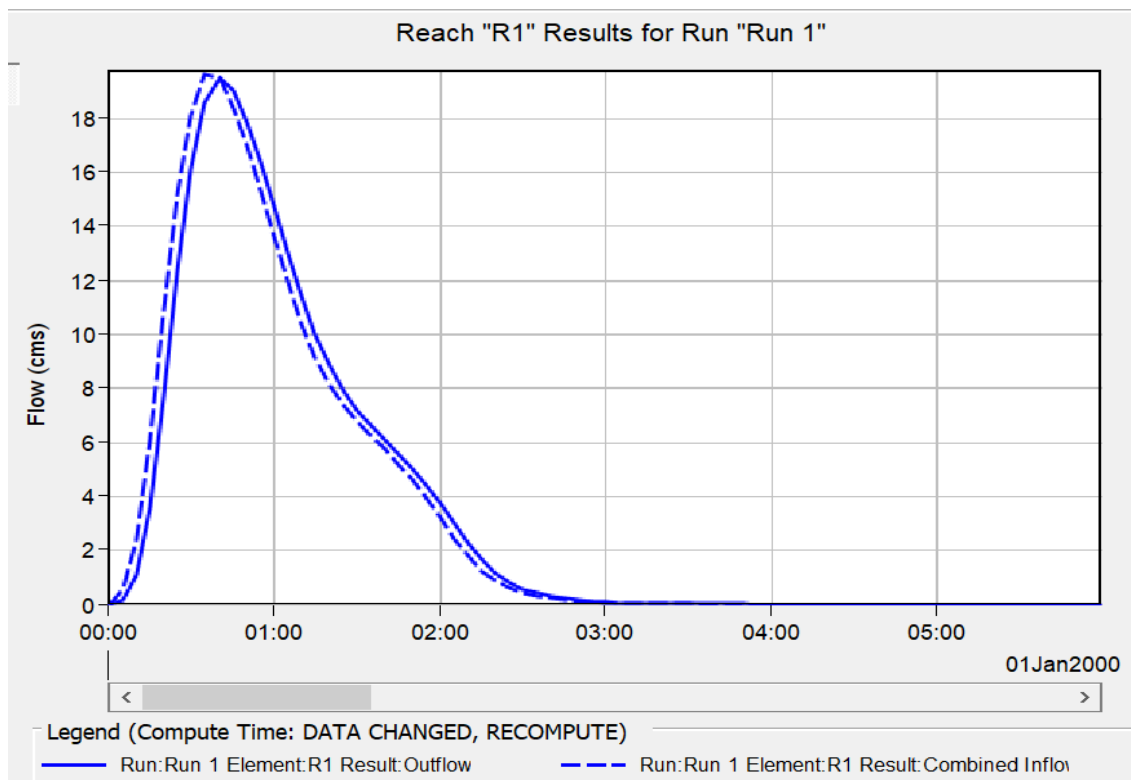
Fonte: Elaborado por autor.

A vazão de pico na junção 1 (J1) foi 19,6 m³/s como hidrograma de saída da sub-bacia 01, com duração do tempo de pico 35 minutos, conforme figura 30.

**Figura 30** - Situação de escoamento de saída na J1.

Fonte: Elaborado por autor.

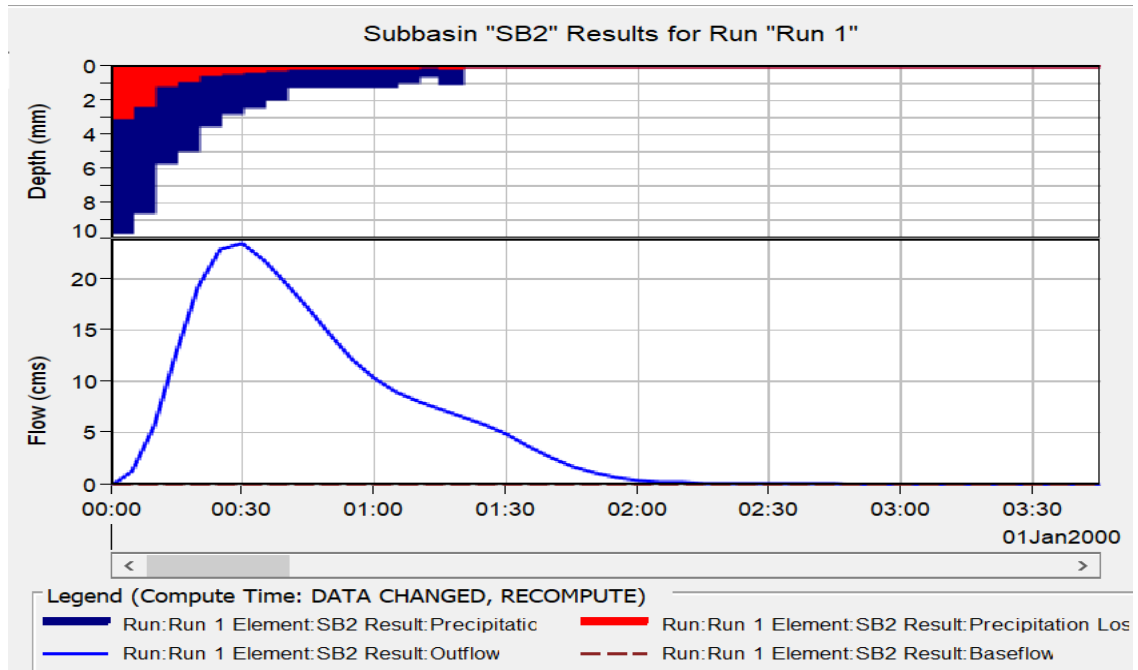
A vazão de pico de entrada e saída no rio 1 (R1) foi  $19,6\text{m}^3/\text{s}$ , com duração do tempo de pico 40 minutos, conforme figura 31.

**Figura 31** - Situação de escoamento de entra e saída no trecho do R1.

Fonte: Elaborado por autor.

O volume precipitado na sub-bacia 02 (SB2) é 47,89mm, e o volume total que escoo para exutório 1 (E1) é 38,2mm, e a diferença é a perda da chuva. A vazão de pico na SB2 é 23,5m<sup>3</sup>/s. A duração do tempo de pico 30 minutos, conforme figura 32.

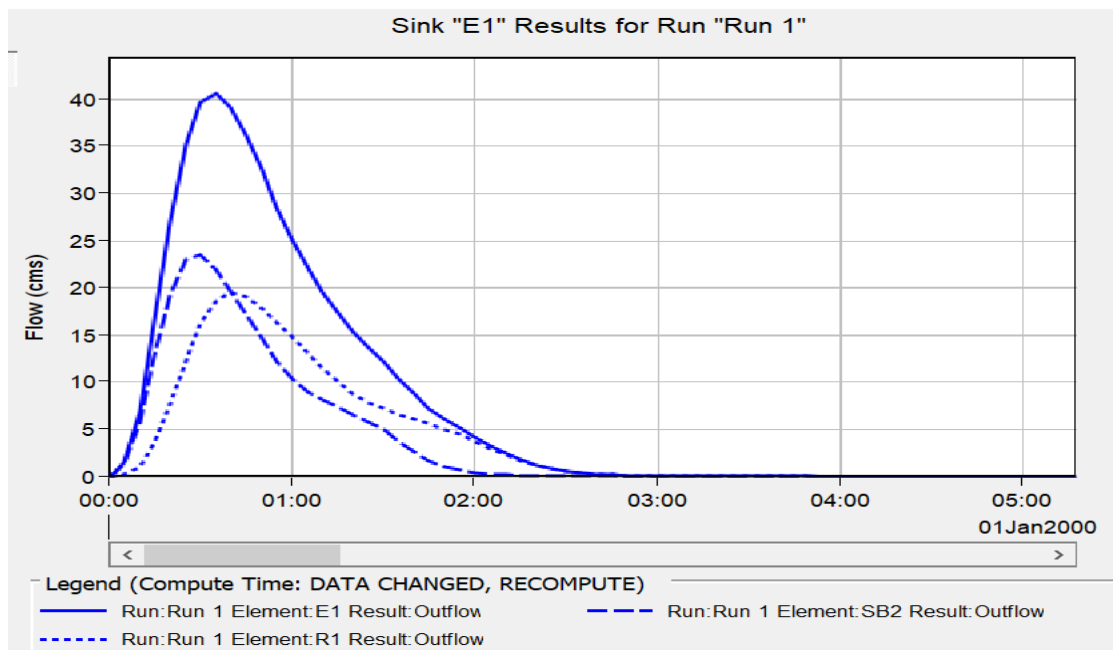
**Figura 32** - Situação do hidrograma de escoamento na SB2.



Fonte: Elaborado por autor.

O resultado da vazão de pico total na saída do hidrograma da bacia no exutório 1 (E1) foi 40,60m<sup>3</sup>/s, como duração do tempo de pico 35 minutos, conforme a figura 33.

**Figura 33** - Situação acumulada de escoamento de entrada e saída no exutório 1



Fonte: Elaborado por autor.

De acordo com resultados da simulação do cenário de 2018, e as figuras apresentadas, todo o acréscimo de valores no volume total escoado, vazão pico: da junção 1, do trecho do rio 1 e do exutório 1 como hidrograma de saída das sub-bacias, são resultantes de aumento de áreas impermeáveis.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados das análises mostram que cada cenário de crescimento urbano afeta diretamente o hidrograma de cheias. Quanto maior for a área impermeável disponível, maior será a vazão de pico na ocorrência de cheias.

### **5.1 A ocorrência de cheias devido a urbanização**

No estudo, o cenário inicial de 2005 a área impermeável foi de 58,90%, a vazão de pico no exutório foi 35,80m<sup>3</sup>/s. No entanto, no cenário de 2012, a vazão de pico foi de 38,30m<sup>3</sup>/s, esse valor evidencia o aumento 5,07% da área impermeável ao longo dos 7 anos. O último cenário de 2018, o crescimento de área impermeável aumentou 4,73% em relação ao ano 2012 e teve a vazão de pico 40,60 m<sup>3</sup>/s. Os três cenários de urbanização mostram um aumento progressivo na vazão de pico de 35,80 a 40,60m<sup>3</sup>/s no último 13 anos, demonstrando que o impacto da urbanização, que envolve por meio da remoção de árvores, gramas e folhas, que são elementos de retenção natural, alteram gradativamente o processo de infiltração da água no solo e causa o rápido escoamento superficial devido à maior disponibilidade de áreas impermeáveis.

Esses resultados têm demonstrado a importância de considerar o uso do solo, e seu impacto na drenagem urbana nos eventos de cheias. A urbanização pode afetar significativamente as condições hidrológicas, por isso há necessidade de planejamento urbano adequado que acompanhe o crescimento da cidade e adote as estratégias de conservação e sustentabilidade para mitigar esses efeitos.

### **5.2 Trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros a este tema sugere-se que sejam adotados vários tempos de retorno (2, 5, 10 e 25) em anos, conforme a dimensão da bacia analisada. Em seguida compará-los aos resultados de simulação em diferentes cenários. Além disso, indica-se projetar a previsão futura de área impermeável com porcentagem superior aos atuais, que possuem o valor superior. Como o Curva Número é dependente de diversos fatores como uso do solo, a cobertura vegetal presente e as condições de umidade antecedentes do solo, possivelmente tende a haver um aumento significativo dos resultados.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/saneamento/>. Acesso em: 29. Marc. 2023.

AESA. **Rio Paraíba**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/rio-paraiba/>. Acesso em: 12. marc. 2022.

ALVES, P. B. R. **Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas**. Campina Grande, 2017.

BARROS, R.T.V et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 2).

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.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 jul. 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, [...] para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília: Presidência da República, [2020]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm). Acesso em: 29. marc. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. Brasília, 2007. 408p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 5. ed. Brasília, 2019. 545p.

BRENNER, N. **Espaço da Urbanização – O Urbano a Partir da Teoria Crítica**. 1.ed. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrópoles, 2018.

CUNHA GUERRA. S.; A. J. T. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 8. ed. Bertrand Brasil, 2001. ISBN: 978-85-2860-802-1. Disponível em: <https://www.lojaofitexto.com.br/impactos-ambientais-urbanos-no-brasil/p>. Acesso em: 02. fev.2022.

IBGE. **Campina Grande: Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>. Acesso em: 05. jul. 2023.

IBGE. **Sidra: Banco de Tabelas Estatísticas**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1552#resultado>. Acesso em: 12. ago. 2021.

KRZYSCZAK; ROBERTO, F. **As diferentes Concepções de Meio Ambiente e suas visões**. Vol. 11 – Nº 23 – janeiro – junho, 2016).

LUCCI, E. A et al. **Território e sociedade: Geografia Geral e do Brasil**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MASSA, K. H. C. et al. **Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível**. REV BRAS EPIDEMIOL, 2020.

MIGLIARI JUNIOR, A. **Crimes Ambientais**. São Paulo: Lex Editora, 2001.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana – Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MOITA NETO, M. J.; CARCARA, M. S. M. **Saneamento Básico: desinformação como limitador do controle Social em Teresina-PI**. 29 de julho, 2017.

MPB ENGENHARIA. **Recurso Hídricos**. Florianópolis/SC, Brasília/DF e Macapá/AP. Disponível em: <http://www.mpb.eng.br/n/recursos-hidricos/>. Acesso em: 18. set. 2021.

NÓBREGA, P. V. M. **Análise do sistema de drenagem de Campina Grande/PB para proteção de áreas de risco de inundação**. Campina Grande, 2012.

OLIVEIRA, T. A. **Centralidades e novas áreas centrais em Campina Grande – PB: o centro do bairro das Malvinas**. João Pessoa, 2017.

OLIVEIRA, J. M. **Reflexos do saneamento e gerenciamento ambiental**. São Cristóvão – SE, 2018.

PARAÍBA ONLINE. **Campina Grande tem vários pontos de alagamento devido as chuvas**. Disponível em: <https://paraibaonline.com.br/2021/05/campina-grande-tem-varios-pontos-de-alagamento-devido-as-chuvas/>. Acesso em: 05. maio. 2022.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. **Sensoriamento Remoto Ambiental: Introdução às Geotecnologias**. 1. ed. Campo Grande, MS: UFMS, 2008. 151p.

PEREIRA, D. L. **Modelagem hidrológica HEC-HMS na bacia hidrográfica do rio Mearim-MA**. Palhoça, 2020.

PEREIRA, S. S. **Reflexões sobre o processo de urbanização e a necessidade de gestão ambiental: o caso dos resíduos de serviço de saúde da cidade de Campina Grande, PB**. REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 87-103, 2015. DOI: 10.18696/reunir. v2i1.48. Disponível em: <https://reunir.revistas.ufcg.edu.br/index.php/uacc/article/view/48>. Acesso em: 1 jun. 2023.

PORTAL G1 PARAÍBA. **Campina Grande registra inundações em casas e pontos de alagamento após fortes chuvas**. Disponível em: <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2021/05/04/campina-grande-registra-inundacoes-em-casas-e-pontos-de-alagamento-apos-fortes-chuvas.ghtml>. Acesso em: 14. Mar. 2022.

RAPER, J. F.; MAGUIRE, D. J. **Design Models and Functionality in GIS**. Computers and Geosciences, London, v.18, n.4, p.387-400, 1992.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e saúde pública**. Juiz de Fora, 2010.

SANTOS, K. A. DOS. **Análise integrada da permeabilidade do solo nos bairros Catolé e Sandra Cavalcante – PB**. Campina Grande – PB, 2015.

SANTOS, K. A. DOS.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB**. Campina Grande, 2017.

SILVA, J. A. DA. **Curso de direito ambiental constitucional**. 3 ed. São Paulo: Malheiros, 2000.

SILVA, J. A. **Direito Urbanístico Brasileiro**. 6.ed. São Paulo: Malheiros Editores LTDA 2010.

SILVA, J. A. B. et al. **A urbanização no mundo e no brasil sob um enfoque geográfico**. Aracaju, outubro 2015.

SOARES, S.; ARISTEA, J. et al. **Impactos da urbanização desordenada na saúde pública: leptospirose e infraestrutura urbana**. POLÊMICA, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 1006-1020, fev. 2014. ISSN 1676-0727. Disponível em: <https://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/9632/7672>. Acesso em: 01 jun. 2023. doi:<https://doi.org/10.12957/polemica.2014.9632>.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de. **Simulação de Perfis D'água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa/PB, 2005.

TSUYUGUCHI, B. B. **Macro drenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação e análises sistêmicas**. Campina Grande, 2015.

USACE (2000). **Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual**. Hydrologic Engineering Center, Davis, California, USA. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/introduction/references>. Acesso em 24.jun.2023.

VIDAL, I. C. A. **Avaliação da poluição difusa no sistema de macro drenagem de Campina Grande - PB**. Campina Grande, 2019.

World Health Organization (2018). **Guidelines on sanitation and health**. World Health Organization. Recuperado de <http://www.who.int/iris/handle/10665/274939>. Acesso em: 02. maio.2023.

World Cities Report (2016). **Urbanization and development: Emerging Futures**. Disponível em: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2016>. Acesso em: 27. maio.2023.