

**FACULDADE UNB PLANALTINA**

LUIZ FERNANDO MARTINS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA DO SETOR  
HABITACIONAL ARAPOANGA - ETAPA 3**

Brasília - 2023

LUIZ FERNANDO MARTINS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA DO SETOR  
HABITACIONAL ARAPOANGA - ETAPA 3**

Trabalho apresentado na Faculdade UnB Planaltina como requisito parcial para obtenção de título de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr. Lucijane Monteiro de Abreu.

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr. Andréia de Almeida.

Brasília - 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA DO SETOR  
HABITACIONAL ARAPOANGA - ETAPA 3**

Trabalho apresentado na Faculdade UnB Planaltina como requisito parcial para obtenção de título de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr. Lucijane Monteiro de Abreu.

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr. Andréia de Almeida.

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2023.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Antônio de Almeida Nobre Junior.

---

Prof. Dr. Carlos Jose Sousa Passos.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Lucijane Monteiro de Abreu.

## RESUMO

As mudanças no uso e na cobertura do solo, como a impermeabilização de áreas devido à urbanização, resulta em um desequilíbrio do ciclo hidrológico, aumentando o escoamento superficial, diminuindo a infiltração no solo e afetando diretamente processos-chave do ciclo hidrológico, como a recarga de aquíferos e a evapotranspiração. Essas alterações intensificam eventos de alagamentos, erosão do solo e comprometem a qualidade da água, destacando a necessidade de abordagens convencionais e/ou sustentáveis no planejamento urbano para mitigar os impactos negativos gerados pelas mudanças no uso e na cobertura do solo. Assim, este estudo trata-se de uma avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana do Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3, na Região Administrativa de Arapoanga no Distrito Federal, por meio de simulações de modelagem hidrológica e hidráulica realizadas com o modelo Personal Computer Storm Water Management Model (PCSWMM), com dados das redes disponibilizados pela Novacap. Os resultados gerados pelos eventos simulados, para 10 anos de tempo de retorno (TR), extraídos da equação IDF - Brasília, apontaram problemas na capacidade de transporte dos condutores, contendo trechos com condutores e poços de visitas ultrapassando as lâminas d'água máximas permitidas pela Novacap (2019), evidenciando a complexidade do sistema de drenagem e sua resposta heterogênea aos eventos pluviais e a necessidade de manutenção e melhoria na infraestrutura do sistema de drenagem, especialmente nos pontos críticos identificados.

**Palavras-chave:** Ciclo Hidrológico; Uso e Cobertura do Solo; Drenagem Pluvial Urbana; Modelagem Hidrológica e Hidráulica; PCSWMM.

## **ABSTRACT**

Changes in land use and cover, such as the sealing of areas due to urbanization, result in an imbalance in the hydrological cycle, increasing surface runoff, decreasing soil infiltration and directly affecting key processes of the hydrological cycle, such as recharge, aquifers and evapotranspiration. These changes intensify flood events, soil erosion and compromise water quality, highlighting the need for conventional and/or sustainable approaches in urban planning to mitigate the negative impacts generated by changes in land use and land cover. Thus, this study is an evaluation of the urban rainwater drainage system of the Arapoanga Housing Sector - Stage 3, in the Administrative Region of Arapoanga in the Federal District, through hydrological and hydraulic modeling simulations carried out with the Personal Computer Storm Water model. Management Model (PCSWMM), with network data provided by Novacap. The results generated by the simulated events, for 10 years of return time (TR), extracted from the IDF - Brasília equation, pointed out problems in the transport capacity of the conductors, containing sections with conductors and manholes exceeding the maximum water depths allowed. by Novacap (2019), highlighting the complexity of the drainage system and its heterogeneous response to rainfall events and the need for maintenance and improvement in the infrastructure of the drainage system, especially in the identified critical points.

Keywords: Hydrological Cycle; Land Use and Cover; Urban Storm Drainage; Hydrological and Hydraulic Modeling; PCSWMM.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Influência do uso e da cobertura do solo no ciclo hidrológico.
- Figura 2. Sistemas de tubulações subterrâneas.
- Figura 3. Alagamentos urbanos.
- Figura 4. Poluição da água.
- Figura 5. Bacia de detenção.
- Figura 6. Telhados e paredes verdes.
- Figura 7. Pavimentos permeáveis e áreas de infiltração.
- Figura 8. Região Administrativa de Arapoanga e Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3.
- Figura 9. ARIS Arapoanga I e Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3.
- Figura 10. Uso e Cobertura do Solo (2018).
- Figura 11. Novos Parcelamentos Previstos.
- Figura 12. Sub-Bacia 1, 2 e 3 do Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3.
- Figura 13. Sistema de Drenagem Pluvial Urbana.
- Figura 14. Informações Fornecidas pela Novacap.
- Figura 15. Fluxograma de Modelagem.
- Figura 16. Poços de visitas que excederam as lâminas d'água máximas.
- Figura 17. Poços de visitas que apresentaram uma resposta adequada.
- Figura 18. Fluxo total máximo de escoamento (L/s).
- Figura 19. Inundações máximas (L/s) e Fluxo de Saída máximo (L/s).
- Figura 20. Conduitos que excederam as lâminas d'água máximas estipuladas pela Novacap.
- Figura 21. Conduitos que apresentaram uma resposta adequada durante a simulação.

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Intensidade pluviométrica e altura de precipitação.



## LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

|           |   |
|-----------|---|
| APA       | Área de Proteção Ambiental  |
| ARIS      | Áreas de Regularização de Interesse Social                        |
| CAESB     | Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal             |
| CHI-Water | Computational Hydraulics International                            |
| CONPLAN   | Conselho de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal |
| DF        | Distrito Federal  |
| GDF       | Governo do Distrito Federal                                       |
| IDF       | Intensidade-Duração-Frequência                                    |
| IDH       | Índice de Desenvolvimento Humano                                  |
| Novacap   | Companhia Urbanizadora Nova Capital                               |
| PCSWMM    | Personal Computer Storm Water Management Model                    |
| PDAD      | Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios                      |
| PDOT      | Plano Diretor de Ordenamento Territorial                          |
| PNAD      | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios                       |
| SEDUH     | Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação        |
| SEI       | Sistema Eletrônico de Informações                                 |
| SIG       | Sistema de Informação Geográfica                                  |
| SWMM      | Storm Water Management Model                                      |
| TR        | Tempo de Retorno  |
| US-EPA    | Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos                  |
| URB       | Projeto Urbanístico   |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>   | <b>12</b> |
| Objetivo Geral.....  | 12        |
| Objetivos Específicos.....   | 12        |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>13</b> |
| 3.1 Ciclo Hidrológico.....   | 13        |
| 3.2 Uso e a Cobertura do Solo.....   | 14        |
| 3.3 Saneamento Básico.....   | 16        |
| 3.4 Drenagem Pluvial Urbana Convencional.....  | 16        |
| 3.5 Drenagem Pluvial Urbana Sustentável.....   | 19        |
| 3.5.1 Telhados Verdes e Paredes Verdes.....  | 20        |
| 3.5.2 Pavimentos Permeáveis e Áreas de Infiltração.....                                  | 21        |
| 3.5.3 Benefícios Ambientais, Econômicos e Sociais da Drenagem Pluvial Sustentável.       | 22        |
| 3.6 Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais (Storm Water Management Model - SWMM)..... | 23        |
| 3.7 PCSWMM.....  | 24        |
| <b>4. METODOLOGIA.....</b>   | <b>26</b> |
| 4.1 Descrição do Setor Habitacional Arapoanga.....                                       | 26        |
| 4.2 Modelagem do Sistema de Drenagem Pluvial Urbana com PCSWMM.....                      | 29        |
| <b>5. RESULTADOS.....</b>  | <b>34</b> |
| 5.1 Análise das Estruturas Inundadas nas Simulações:.....                                | 34        |
| 5.2 Análise da Capacidade de Transporte dos Condutores:.....                             | 36        |
| 5.3 Análise das Profundidades das Lâminas Superficiais nos Condutores:.....              | 37        |
| <b>6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>40</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O uso e a cobertura do solo desempenham um papel crucial na dinâmica hidrológica urbana, influenciando diretamente a gestão das águas pluviais. O ciclo hidrológico, fundamental para entender o comportamento da água na natureza, é alterado significativamente em áreas urbanizadas devido à impermeabilização do solo decorrente do desenvolvimento urbano (Arnfield, 2003; Arnold, 2012).

A impermeabilização resultante de estruturas urbanas, como estradas e edifícios, reduz a capacidade natural do solo de absorver a água da chuva. Isso intensifica o escoamento superficial, levando ao surgimento de problemas como alagamentos, erosão do solo e degradação da qualidade da água (Smith, 2018). Estratégias tradicionais de drenagem focam em conduzir rapidamente as águas pluviais para longe das áreas urbanas, muitas vezes resultando em sobrecarga dos sistemas existentes. Essas estratégias tradicionais são parte integrante da drenagem pluvial convencional (Ward, 2017).

No contexto da drenagem pluvial sustentável, práticas inovadoras são adotadas para mitigar esses impactos negativos. A implementação de infraestrutura verde, como telhados verdes e pavimentos permeáveis, visa restaurar a capacidade de infiltração do solo, reduzindo o escoamento superficial. Além disso, áreas verdes urbanas são projetadas para absorver e gerenciar as águas pluviais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Independente da prática de drenagem pluvial adotada (convencional e/ou sustentável), compreender o processo de geração de escoamento superficial em função das condições de uso e cobertura do solo é uma etapa essencial para a gestão eficaz das águas pluviais em ambientes urbanos. Nesse sentido, modelos hidrológicos que permitem estimar a geração de água pluviais em bacias urbanas tem se mostrado essenciais para avaliar a adequação das estruturas de drenagem e a proposição de medidas de adequação das mesmas.

O modelo Storm Water Management Model (SWMM, Gerenciamento de Águas Pluviais) é um exemplo amplamente utilizado nesse sentido (Rossman, 2015; Smith e Brown, 2019). Por meio do SWMM é possível realizar simulações para analisar o comportamento do sistema de drenagem em diferentes cenários. O SWMM, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, é uma referência na modelagem hidrológica, enquanto o Personal Computer Storm Water Management Model (PCSWMM) é uma versão acessível, que oferece uma interface GIS amigável do SWMM.

O Distrito Federal possui um elevado Índice de Desenvolvimento Humano - IDH (PNAD, 2021). No entanto, enfrenta desafios na gestão de águas pluviais, evidenciados por

episódios de alagamentos, mesmo com 77,4% da população urbana mencionando a presença de bocas de lobo próximas às suas residências (PDAD, 2021). O Setor Habitacional Arapoanga ilustra essa realidade, com uma população urbana relatando ocorrências de alagamentos nas ruas durante os períodos de chuva (PDAD-2021).

Diante disso, torna-se evidente a necessidade de avaliação desses sistemas de drenagem, bem como o controle e planejamento da expansão urbana, como medidas fundamentais para mitigar esses problemas ambientais.

No contexto específico do Setor Habitacional Arapoanga, a necessidade de uma gestão eficaz torna-se ainda mais urgente devido à expansão desordenada e às limitações infra estruturais presentes na região (PDAD, 2021).

Nesse cenário, o presente estudo propõe-se a avaliar, por meio de simulações no PCSWMM, o sistema de drenagem pluvial urbana dessa localidade. Os objetivos centrais são compreender a distribuição da água ao longo do sistema e analisar o impacto resultante nas estruturas de condutos e poços de visita, fornecendo informações para aprimorar a infraestrutura e a sustentabilidade ambiental da região.

## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo Geral

O objetivo principal deste estudo é avaliar o sistema de drenagem pluvial urbana do Setor Habitacional Arapoanga, por meio de simulações de modelagem hidrológica e hidráulica realizadas no PCSWMM.

### Objetivos Específicos

- Realizar simulações de modelagem hidrológica e hidráulica do sistema de drenagem pluvial urbana utilizando o modelo PCSWMM, considerando uma intensidade-duração-frequência (IDF), com tempo de retorno de 10 anos.
- Analisar o desempenho dos condutos principais e secundários durante as simulações, identificando lâminas de água máximas, possíveis pontos críticos de pressurização dos condutos e possíveis pontos que possam gerar alagamentos.
- Avaliar a capacidade de transporte dos condutores durante as simulações, determinando se o sistema atual é capaz de lidar com o volume de água gerado durante eventos pluviais.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água, é um processo natural e complexo que governa o movimento da água na Terra. Compreender o ciclo hidrológico é fundamental para a gestão eficaz de águas pluviais em áreas urbanas, pois ele influencia diretamente o comportamento e a disponibilidade da água.

Como enfatizado por Vorosmarty (2015), "O ciclo hidrológico é o motor por trás da distribuição da água na Terra". Esse ciclo é composto, dentre outros processos, pela evaporação da água da superfície da Terra e a transpiração da vegetação, condensação e a formação de nuvens, precipitação, infiltração e o escoamento superficial.

O ciclo hidrológico, um processo vital na gestão de águas pluviais urbanas, começa com a evaporação da água da superfície da Terra. Esse fenômeno é desencadeado pela energia solar, que aquece a água e a transforma do estado líquido para o vapor de água. Além disso, a transpiração das plantas desempenha um papel crucial ao liberar vapor de água na atmosfera. Conforme descrito por Gleick (2018), "A evaporação é uma parte vital do ciclo hidrológico, garantindo que a água seja reciclada e continue a circular na Terra".

Tanto a evaporação quanto a transpiração desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio da água na Terra, contribuindo para a reciclagem da água e a continuação do ciclo hidrológico. A evaporação é um processo que ocorre principalmente em superfícies de água, como oceanos, rios e lagos, enquanto a transpiração é uma função das plantas, que liberam água por meio de pequenas aberturas em suas folhas, conhecidas como estômatos.

A próxima etapa importante do ciclo hidrológico é a condensação. Neste estágio, o vapor de água na atmosfera se eleva, onde se resfria e condensa para formar nuvens. Quando as gotículas de água nas nuvens crescem o suficiente, ocorre a precipitação na forma de chuva, neve ou granizo. Conforme observado por Trenberth (2020), "A precipitação é a principal forma de recarga de água doce na Terra e é vital para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e o fornecimento de água potável".

A precipitação é um elemento-chave no ciclo hidrológico, pois fornece a recarga de água doce para rios, lagos, aquíferos e outros corpos d'água. A disponibilidade de água doce é essencial para a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e o abastecimento de água potável para comunidades humanas.

Posteriormente à precipitação, ocorre o processo de infiltração, no qual a água penetra na superfície do solo. Esse fenômeno é de grande importância prática, pois impacta diretamente o escoamento superficial, responsável pelos processos de alagamentos, erosão do solo e degradação da qualidade da água (Smith, 2018). Após a infiltração ocorrer, a parte superior do solo retém uma quantidade significativa de umidade, ao passo que as camadas mais profundas ainda apresentam níveis mais baixos. Esse desequilíbrio resulta em um movimento descendente da água, conhecido como redistribuição. Em outras palavras, a água que inicialmente foi absorvida pela superfície do solo agora se move para camadas mais profundas, buscando equilibrar a umidade do solo de maneira descendente.

Posteriormente à infiltração, a água flui pela superfície da terra em direção aos corpos d'água, seguindo um caminho que pode envolver riachos, rios e, eventualmente, o oceano. O escoamento superficial é uma parte importante do ciclo hidrológico, mas em áreas urbanas, ele pode ser alterado significativamente devido ao uso do solo e à impermeabilização de superfícies.

Conforme afirmado por Chen (2016), "Em áreas urbanas, o escoamento superficial muitas vezes é acelerado e direcionado para sistemas de drenagem, devido à impermeabilização das superfícies e ao desenvolvimento de infraestrutura de drenagem". Isso pode resultar em alagamentos, aumento na poluição da água e desafios na gestão de águas pluviais.

A compreensão do ciclo hidrológico, desde a evaporação e transpiração até a condensação, precipitação e escoamento superficial, é essencial para planejar adequadamente a gestão de águas pluviais nas áreas urbanas. Isso garante que a água da chuva seja gerenciada de forma eficiente e sustentável, contribuindo para a resiliência das cidades em face de desafios relacionados ao clima e ao desenvolvimento urbano.

### 3.2 Uso e a Cobertura do Solo

A gestão eficaz das águas pluviais urbanas começa com uma compreensão aprofundada do uso e da cobertura do solo. O desenvolvimento urbano desempenha um papel crítico na forma como a água da chuva é coletada e transportada. Como afirmado por Chui (2019), "O uso do solo é um fator determinante na quantidade de escoamento de águas pluviais gerada em uma área urbana". O tipo de uso do solo, seja residencial, comercial, industrial ou recreativo, influencia diretamente o escoamento de águas pluviais.

Além disso, áreas residenciais frequentemente apresentam superfícies impermeáveis, como calçadas e estradas, que aumentam o escoamento da água da chuva. Conforme destacado por Smith (2018), "A impermeabilização das superfícies em áreas residenciais tem sido uma causa significativa de aumento no escoamento de águas pluviais nas áreas urbanas".

Por outro lado, a inclusão de zonas verdes e espaços permeáveis nas áreas urbanas desempenha um papel fundamental na absorção da água da chuva. Conforme observado por Beecham (2020), "As áreas verdes urbanas, como parques e jardins, servem como esponjas naturais que absorvem a água da chuva e reduzem o volume de escoamento superficial".

O planejamento urbano também desempenha um papel crítico na gestão de águas pluviais. Estratégias de planejamento urbano sustentável visam integrar considerações de drenagem pluvial desde o início do desenvolvimento urbano. De acordo com a pesquisa de Kim (2021), "O planejamento urbano sustentável busca mitigar os impactos do escoamento de águas pluviais, promovendo o uso eficiente do solo e a implementação de estratégias de drenagem sustentável".

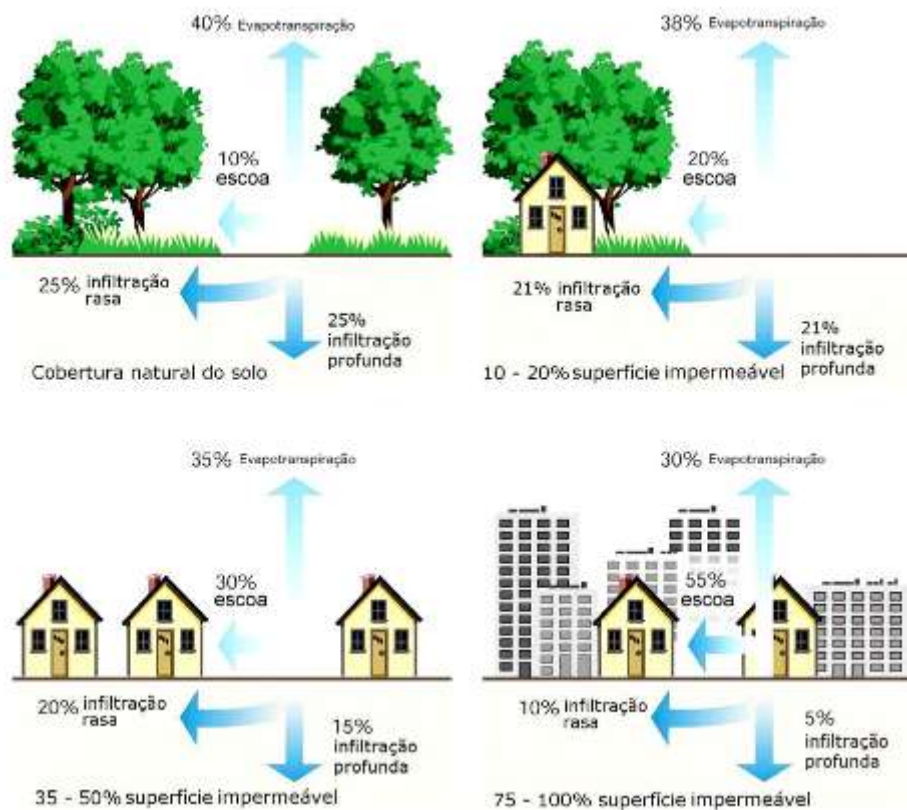


Figura 1 - Influência do uso e da cobertura do solo no ciclo hidrológico.

Fonte: Fisrwg (1998).

### 3.3 Saneamento Básico

O saneamento básico inclui os serviços de abastecimento de água; coleta e tratamento de efluentes; limpeza urbana, coleta e destinação dos resíduos sólidos; e drenagem e manejo de águas pluviais. O acesso a sistemas adequados de saneamento é essencial para prevenir a contaminação da água e proteger a saúde da população.

O saneamento básico desempenha um papel crítico na proteção da saúde pública. A contaminação da água pode levar à disseminação de doenças transmitidas pela água, como cólera e hepatite. Portanto, o acesso à água potável segura e a coleta e tratamento de esgoto são cruciais para a prevenção de surtos de doenças.

Conforme ressaltado por Bartram (2020), "A proteção da saúde pública é um dos principais objetivos do saneamento básico, garantindo que a água seja segura para consumo humano e que os riscos de doenças relacionadas à água sejam minimizados". O saneamento básico adequado é essencial para garantir a saúde e o bem-estar das comunidades urbanas.

Dentre os serviços de saneamento básico, a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas representam um componente crucial para garantir a proteção da saúde pública e a qualidade da água em áreas urbanas.

O controle da poluição da água é um elemento-chave na gestão de águas pluviais e na preservação da qualidade da água em rios, lagos e oceanos. Isso envolve a implementação de regulamentações e práticas para evitar a descarga de produtos químicos tóxicos, metais pesados e outros poluentes na água. A poluição da água pode ter impactos prejudiciais nos ecossistemas aquáticos e ameaçar a disponibilidade de água potável.

De acordo com Kümmerer (2019), "O controle da poluição da água desempenha um papel crucial na gestão ambiental e é essencial para a preservação da biodiversidade aquática e a disponibilidade de água segura para consumo humano". Proteger a qualidade da água é essencial para a saúde humana e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos.

### 3.4 Drenagem Pluvial Urbana Convencional

A drenagem pluvial urbana convencional é o sistema tradicional amplamente adotado para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas. No entanto, esse sistema enfrenta vários desafios, especialmente em ambientes urbanos densamente povoados.

A drenagem pluvial convencional depende, em grande parte, de sistemas de tubulações subterrâneas para coletar e direcionar a água da chuva para longe das áreas



urbanas. Embora eficaz em condições normais, esse sistema pode ser facilmente sobrecarregado durante eventos de chuvas intensas, resultando em alagamentos.

Conforme observado por Ward (2017), "A drenagem pluvial convencional frequentemente envolve a canalização da água da chuva para longe das áreas urbanas por meio de redes de tubulações subterrâneas. Isso pode ser eficaz em condições normais, mas inadequado durante eventos de chuva intensa". Esse desafio pode levar a alagamentos urbanos significativos, causando danos materiais e perturbações no tráfego.



Figura 2 - Sistemas de tubulações subterrâneas.

Fonte: Lúcio Bernardo Jr/Agência Brasília (2022).

Os alagamentos urbanos são um problema comum associado à drenagem pluvial convencional. Quando a capacidade do sistema de drenagem é excedida, as águas pluviais podem se acumular nas ruas, resultando em alagamentos que afetam residências, empresas e infraestrutura urbana. Além disso, os alagamentos urbanos frequentemente transportam poluentes para os corpos d'água, prejudicando a qualidade da água.

Como indicado por Smith e Burian (2018), "As inundações urbanas são uma ameaça crescente devido ao desenvolvimento urbano e à incapacidade dos sistemas de drenagem convencionais de lidar com chuvas intensas". Esse fenômeno não apenas tem impactos econômicos e sociais, mas também representa uma ameaça à qualidade da água e aos ecossistemas aquáticos.



Figura 3 - Alagamentos urbanos.

Fonte: Tiago Queiroz/Estadão (2023).

A drenagem pluvial convencional também contribui para a poluição da água. À medida que a água da chuva escoar pelas superfícies urbanas, ela pode carregar consigo poluentes, como óleo de veículos, produtos químicos industriais e detritos. Esses poluentes são então transportados para rios e lagos, prejudicando a qualidade da água e afetando os ecossistemas aquáticos.

Conforme destacado por Zhang (2019), "A drenagem pluvial convencional frequentemente carrega uma carga significativa de poluentes para os corpos d'água, o que afeta a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos". Essa poluição representa uma ameaça tanto para a vida aquática quanto para o abastecimento de água potável.



Figura 4 - Poluição da água.

Fonte: Ana Clara Godoi/Adobe Stock (2023)

### 3.5 Drenagem Pluvial Urbana Sustentável

A drenagem pluvial sustentável é uma abordagem inovadora que busca replicar os processos naturais de absorção da água da chuva no ambiente urbano. Essa abordagem oferece diversas estratégias e técnicas para minimizar os impactos negativos das águas pluviais e promover a sustentabilidade ambiental.

Para enfrentar os desafios associados à drenagem pluvial convencional, é crucial adotar estratégias eficazes de gerenciamento de alagamentos. Isso pode incluir a expansão da capacidade do sistema de drenagem, a construção de diques e barragens, bem como a melhoria da manutenção das redes de drenagem. No entanto, essas soluções podem ser dispendiosas e nem sempre oferecem uma solução a longo prazo.





Figura 5 - Bacia de detenção.

Fonte: Marcos Sandes (2022).

Conforme ressaltado por Sharma (2020), "A gestão de enchentes em áreas urbanas exige uma abordagem abrangente que inclua medidas de controle de escoamento, técnicas de retenção de água e planejamento de uso do solo". A busca por estratégias mais sustentáveis e eficientes se tornou imperativa, levando ao desenvolvimento da drenagem pluvial sustentável.

A drenagem pluvial convencional, apesar de sua ampla utilização, enfrenta desafios significativos que impactam as áreas urbanas. A busca por soluções mais sustentáveis e eficazes resultou na evolução para a drenagem pluvial sustentável, uma abordagem que visa abordar esses desafios de forma mais holística e ambientalmente amigável.

### 3.5.1 Telhados Verdes e Paredes Verdes

Uma das estratégias-chave da drenagem pluvial sustentável envolve a implementação de telhados verdes e paredes verdes. Os telhados verdes são cobertos com vegetação que absorve a água da chuva e reduz o escoamento. As paredes verdes também contribuem para a absorção da água, melhorando a qualidade do ar e proporcionando benefícios estéticos.

Conforme demonstrado por Savi (2019), "Os telhados verdes são uma forma eficaz de reduzir o escoamento de águas pluviais, bem como de melhorar a qualidade do ar e promover a biodiversidade urbana". Essas soluções não apenas auxiliam na gestão das águas pluviais, mas também têm um impacto positivo no ambiente urbano como um todo.

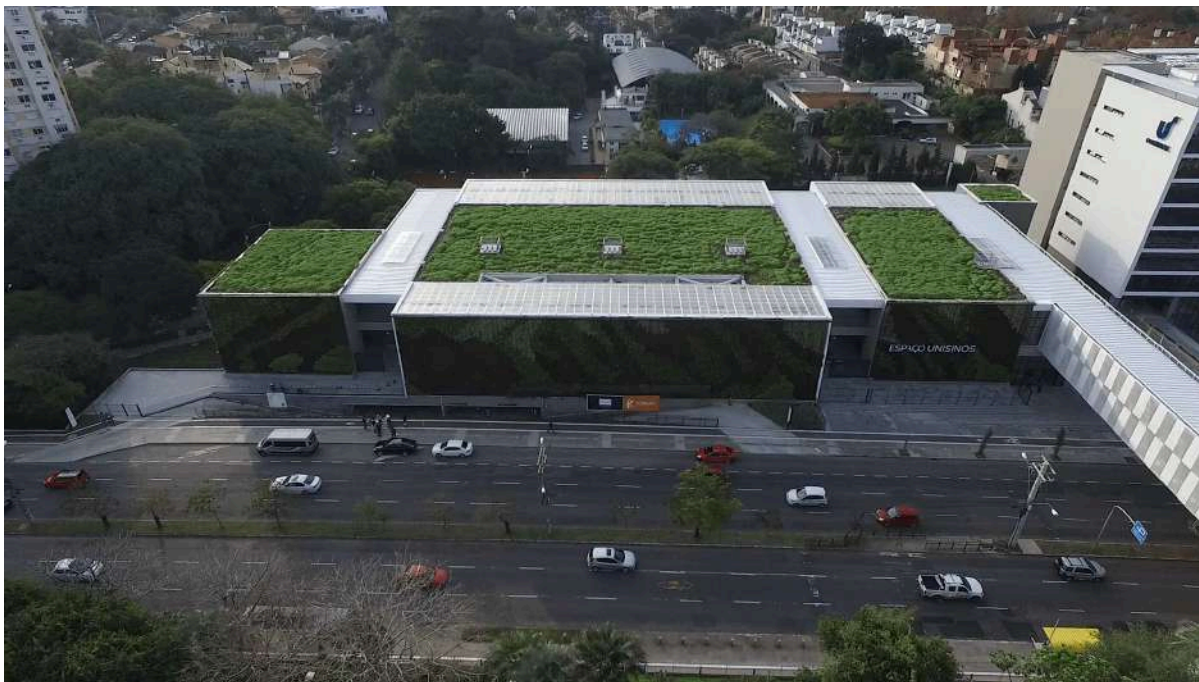


Figura 6 - Telhados e paredes verdes.

Fonte: Ecotelhados (2017).

### 3.5.2 Pavimentos Permeáveis e Áreas de Infiltração

Outra técnica importante é a utilização de pavimentos permeáveis, que permitem que a água da chuva seja absorvida pelo solo em vez de escoar diretamente para os sistemas de drenagem. Além disso, a criação de áreas de infiltração, como jardins de chuva e bacias de retenção, ajuda a armazenar temporariamente a água da chuva, permitindo sua absorção gradual.

Como mencionado por Brattebo (2018), "Os pavimentos permeáveis oferecem uma solução prática para a redução do escoamento de águas pluviais e a recarga de aquíferos subterrâneos". Essas medidas não apenas reduzem o risco de alagamentos, mas também contribuem para a recarga de recursos hídricos subterrâneos.



Figura 7 - Pavimentos permeáveis e áreas de infiltração.

Fonte: Normand Lemieux (2021).

### 3.5.3 Benefícios Ambientais, Econômicos e Sociais da Drenagem Pluvial Sustentável

A drenagem pluvial sustentável oferece uma série de benefícios significativos. Além de reduzir o risco de alagamentos, ela melhora a qualidade da água, protegendo os ecossistemas aquáticos. Do ponto de vista econômico, pode resultar em economia de custos a longo prazo, uma vez que reduz a necessidade de investimentos em infraestrutura de drenagem convencional.

Do ponto de vista social, a drenagem pluvial sustentável cria ambientes urbanos mais agradáveis, com espaços verdes, maior biodiversidade e melhores condições de vida para os moradores. Além disso, promove o envolvimento da comunidade na gestão de águas pluviais, aumentando a conscientização e a responsabilidade em relação ao meio ambiente.

Conforme destacado por Bertrand-Krajewski (2017), "A drenagem pluvial sustentável oferece uma abordagem holística que beneficia o meio ambiente, a economia e a qualidade de vida das comunidades urbanas". Essa abordagem integra eficazmente preocupações ambientais, econômicas e sociais, tornando-a uma solução abrangente para a gestão de águas pluviais urbanas.

A cidade de Portland, Oregon, é um exemplo notável de sucesso na implementação de práticas de drenagem pluvial sustentável. O programa "BES (Bureau of Environmental



Services) Green Streets" da cidade se concentra na criação de infraestrutura verde para gerenciar águas pluviais.

Um estudo de caso realizado por Smith e Jones (2021) analisou o impacto dessas estratégias em vários bairros de Portland. Eles descobriram que a implementação de calçadas permeáveis, canteiros de chuva e árvores urbanas reduziu significativamente o volume de escoamento de águas pluviais e melhorou a qualidade da água nos riachos locais.

Cingapura é conhecida por sua abordagem inovadora na gestão de águas pluviais em um ambiente urbano densamente povoado. A cidade-estado investiu em infraestrutura de drenagem sustentável, como reservatórios subterrâneos e lagos urbanos, para armazenar a água da chuva. Além disso, o uso de telhados verdes e jardins de chuva é amplamente incentivado.

De acordo com um estudo de caso publicado por Tan e Wang (2019), o sistema de drenagem pluvial sustentável de Cingapura ajudou a mitigar o risco de alagamentos, reduzir a poluição da água e melhorar a qualidade dos espaços urbanos.

Melbourne é outro exemplo de uma cidade que adotou medidas inovadoras de drenagem pluvial sustentável. O projeto "Melbourne's Green Roofs" incentiva a instalação de telhados verdes em edifícios comerciais e residenciais.

Um estudo conduzido por Brown (2020) analisou os benefícios dessa iniciativa, incluindo a redução do escoamento de águas pluviais, a mitigação do efeito de ilha de calor urbano e a promoção da biodiversidade nas áreas urbanas.

Esses estudos de caso demonstram que a drenagem pluvial sustentável pode ser bem-sucedida em diversas configurações urbanas, trazendo benefícios ambientais, econômicos e sociais.

### 3.6 Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais (Storm Water Management Model - SWMM)

O SWMM, ou Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais, foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA) para simular eventos únicos ou contínuos de chuva e escoamento, abrangendo uma análise da qualidade e quantidade do escoamento. O componente de escoamento opera com sub-bacias que recebem precipitação geradora de carga de poluentes e escoamento superficial, sendo transportado por um sistema de tubulações, canais, dispositivos de armazenamento ou tratamento, bombas e reguladores (Restucci, 2020).

O SWMM calcula a qualidade e quantidade do escoamento gerado em cada sub-bacia (Paula, 2019), sendo um software de código aberto e gratuito, amplamente difundido no meio acadêmico. O modelo conceitua o sistema de drenagem em compartimentos, incluindo Atmosférico, Superfície do Solo, Águas Subterrâneas e de Transporte.

Esse modelo utiliza princípios de modelagem hidrológica para simular o fluxo da água da chuva em áreas urbanas, considerando fatores como precipitação, uso do solo, topografia e características do sistema de drenagem. O SWMM permite que gestores de águas pluviais modelem cenários hipotéticos e avaliem o desempenho dos sistemas de drenagem em diferentes condições (Smith e Brown, 2019).

A precisão das simulações do SWMM depende da qualidade dos dados de entrada (Johnson, 2018). Os gestores de águas pluviais devem coletar e manter dados atualizados para garantir resultados confiáveis. Essa ferramenta possibilita a modelagem de eventos de chuva hipotéticos ou reais, permitindo a avaliação do comportamento da água sob diversas condições.

O SWMM é uma ferramenta valiosa para planejar projetos de drenagem pluvial e avaliar a eficácia das estratégias de gestão de águas pluviais (Brown e Miller, 2020). Seus resultados fornecem informações cruciais para gestores de águas pluviais, engenheiros e autoridades locais, possibilitando o planejamento de melhorias na infraestrutura de drenagem e a tomada de decisões informadas para proteger a qualidade da água e reduzir o risco de alagamentos.

O SWMM desempenha um papel crucial na gestão de águas pluviais urbanas, permitindo a análise de cenários e a tomada de decisões informadas com base em dados e simulações confiáveis (White, 2017). Sua aplicação é fundamental na gestão de águas pluviais urbanas, possibilitando a previsão, planejamento e avaliação de sistemas de drenagem eficazes, bem como a implementação de medidas sustentáveis de drenagem.

### 3.7 PCSWMM

O PCSWMM, desenvolvido pela Computational Hydraulics International (CHI-Water), compartilha os modelos e conceitos do SWMM, destacando-se por sua interface mais amigável na entrada de dados e visualização dos resultados. Amplamente utilizado na gestão de águas pluviais urbanas, permite a integração de dados de softwares com sistemas de informações geográficas (PCSWMM, 2019). Representa uma ferramenta essencial na modelagem hidrológica, sendo amplamente empregado na análise e projeto de



sistemas de drenagem pluvial em ambientes urbanos. Sua aplicação estendida abrange desde avaliações de impacto ambiental até o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de gerenciamento de águas pluviais, consolidando-se como uma escolha confiável para profissionais desse campo (CHI, 2021).

O PCSWMM destaca-se por incorporar parâmetros cruciais, como padrões de projeções, evapotranspiração e características de uso do solo. Sua capacidade de simular eventos de chuva em diferentes escalas temporais e avaliar o escoamento resultante é fundamental para compreender o comportamento das águas pluviais em ambientes urbanos (Johnson, 2018).

Além da modelagem hidrológica, o PCSWMM integra uma modelagem hidráulica robusta. Essa funcionalidade permite simular como a água flui através de sistemas de deriva, levando em consideração variáveis como topografia, geometria dos canais, estruturas de controle e características dos tubos e bueiros (Smith & Brown, 2019).

Uma característica distintiva do PCSWMM é sua capacidade de modelar a qualidade da água, simulando parâmetros como temperatura, oxigênio distribuído, nutrientes e contaminantes, proporcionando uma análise abrangente dos impactos ambientais associados ao escoamento pluvial (Jorgensen, 2018).

A eficácia do PCSWMM é notável, permitindo aos usuários ajustar configurações do modelo com base em dados observacionais, garantindo a precisão das simulações e a confiabilidade dos resultados (Fletcher & Andoh, 2018).

No âmbito do planejamento de drenagem sustentável, o PCSWMM desempenha um papel crucial, possibilitando que os usuários avaliem o desempenho de estratégias como telhados verdes, pavimentos permeáveis e bacias de retenção. Essa capacidade contribui para o desenvolvimento de soluções inovadoras e ambientalmente amigáveis no contexto urbano (Sun & Burns, 2017).

Em resumo, o PCSWMM surge como uma ferramenta integral, não apenas facilitando a modelagem hidrológica e hidráulica, mas desempenhando um papel fundamental na promoção de práticas sustentáveis de gerenciamento de águas pluviais em ambientes urbanos.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Descrição do Setor Habitacional Arapoanga

O Setor Habitacional Arapoanga constitui uma parte essencial da recém-estabelecida Região Administrativa de Arapoanga, que foi desmembrada da Região Administrativa de Planaltina, conforme registrado pelo Governo do Distrito Federal em 2022 (GDF-2022). Localizado na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São Bartolomeu, o Setor Habitacional Arapoanga é circundado ao norte pelo Córrego Atoleiro e pela cidade de Planaltina, ao sul pela DF-230 e pelo Setor Habitacional Aprodarmas, a leste pelo Núcleo Rural Atoleiro e a oeste pelo Ribeirão Mestre D'Armas.

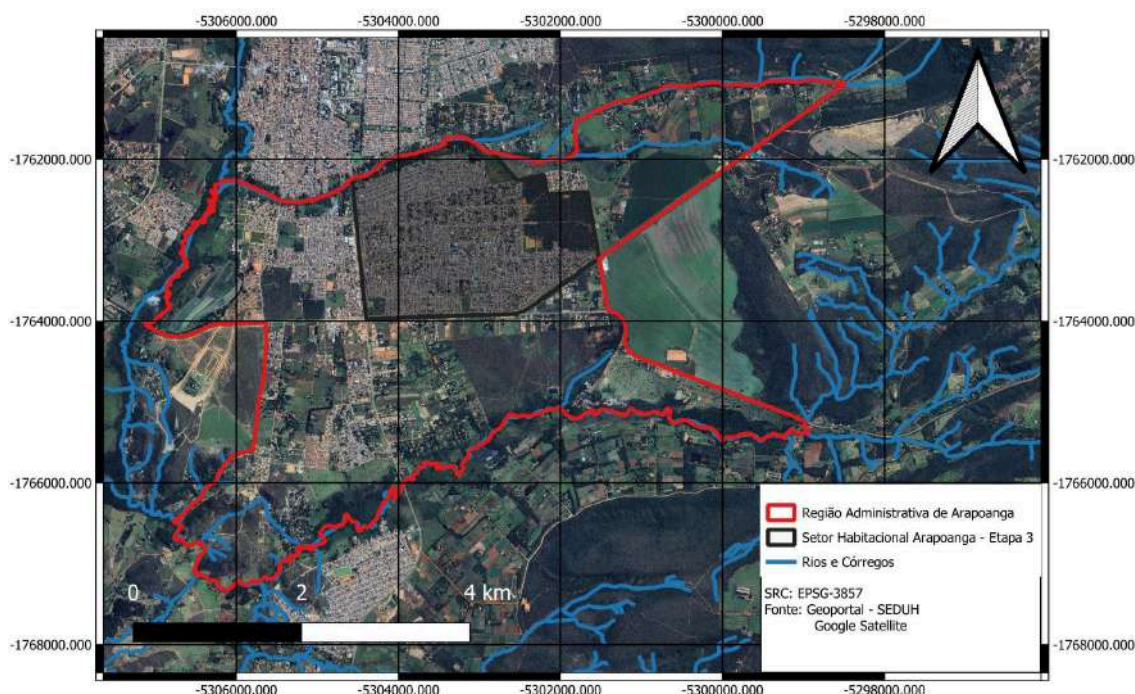


Figura 8 - Região Administrativa de Arapoanga e Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3.

Fonte: Geoportal - SEDUH (2023); Elaborado pelo autor (2023).

O Setor Habitacional Arapoanga abriga uma população urbana de 47.829 pessoas, conforme os dados do Plano Diretor de Áreas Urbanas do Distrito Federal (PDAD) de 2021. A grande maioria dos domicílios, representando 99,5%, possui acesso ao abastecimento de água, estando conectados à rede geral da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Quanto ao esgotamento sanitário, 73,5% dos domicílios têm acesso à rede geral de esgoto da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

No que diz respeito à infraestrutura de drenagem da água da chuva, 75,9% da população urbana indicou a presença de bocas de lobo nas proximidades de suas residências, evidenciando uma cobertura significativa deste elemento na região. No entanto, é importante notar que aproximadamente 30,5% dos entrevistados relataram ocorrências de alagamentos nas ruas durante os períodos de chuva (PDAD, 2021).

Esses dados destacam tanto a eficácia quanto os desafios na infraestrutura urbana do Setor Habitacional Arapoanga, sinalizando áreas que podem demandar maior atenção em termos de gestão de águas pluviais e melhorias na infraestrutura para minimizar problemas de alagamento.

Esta região está passando atualmente por um processo de regularização, resultante da expansão urbana desordenada que ocorreu em Planaltina. No contexto do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT, 2009), o Setor Habitacional Arapoanga foi identificado como alvo desse processo, incorporado como ARIS Arapoanga I e compreendendo a Etapa 3 do Setor Habitacional Arapoanga.

Esse movimento de regularização reflete os esforços para trazer ordenamento e conformidade ao desenvolvimento urbano da região, estabelecendo diretrizes e parâmetros para a regularização fundiária e de infraestrutura necessária.

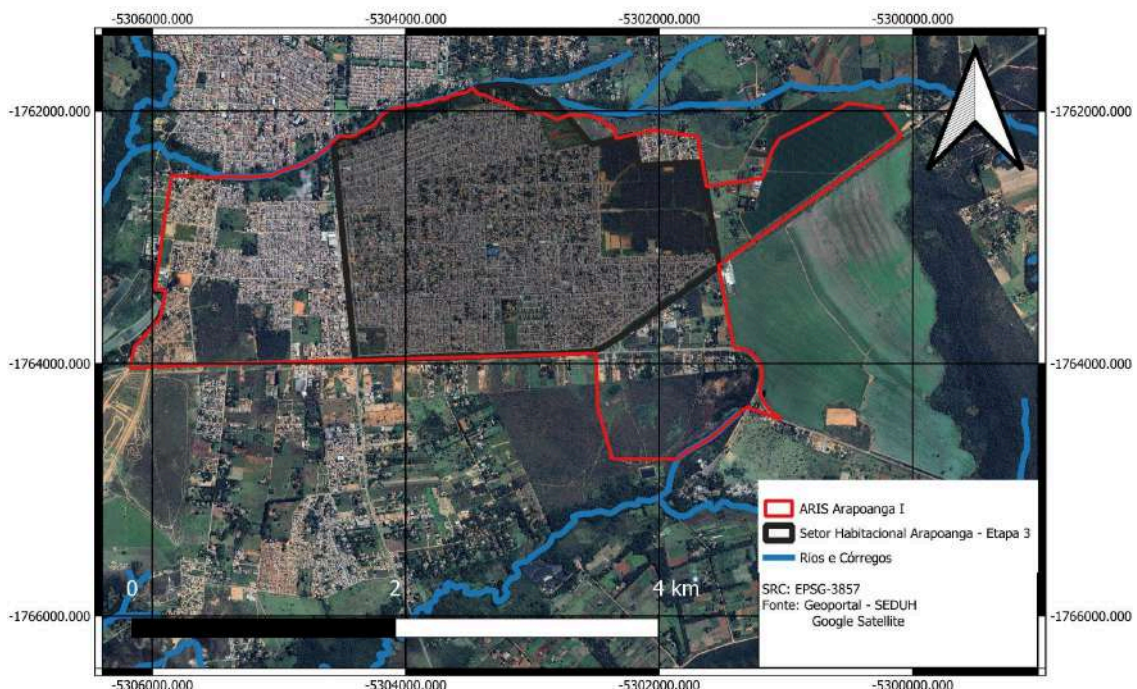


Figura 9 - ARIS Arapoanga I e Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3.

Fonte: Geoportal - SEDUH (2023); Elaborado pelo autor (2023).

O uso e a cobertura do solo no Setor Habitacional Arapoanga é predominantemente composto por áreas urbanizadas, formação florestal e formação campestre. A classificação utilizada baseou-se em dados fornecidos pelo Geoportal, obtidas em 2018. As categorias resultantes da segmentação, após a fusão de algumas classes, incluíram Área Agrícola, Área Urbanizada, Formação Campestre, Formação Savânica, Formação Florestal, Silvicultura e Água.

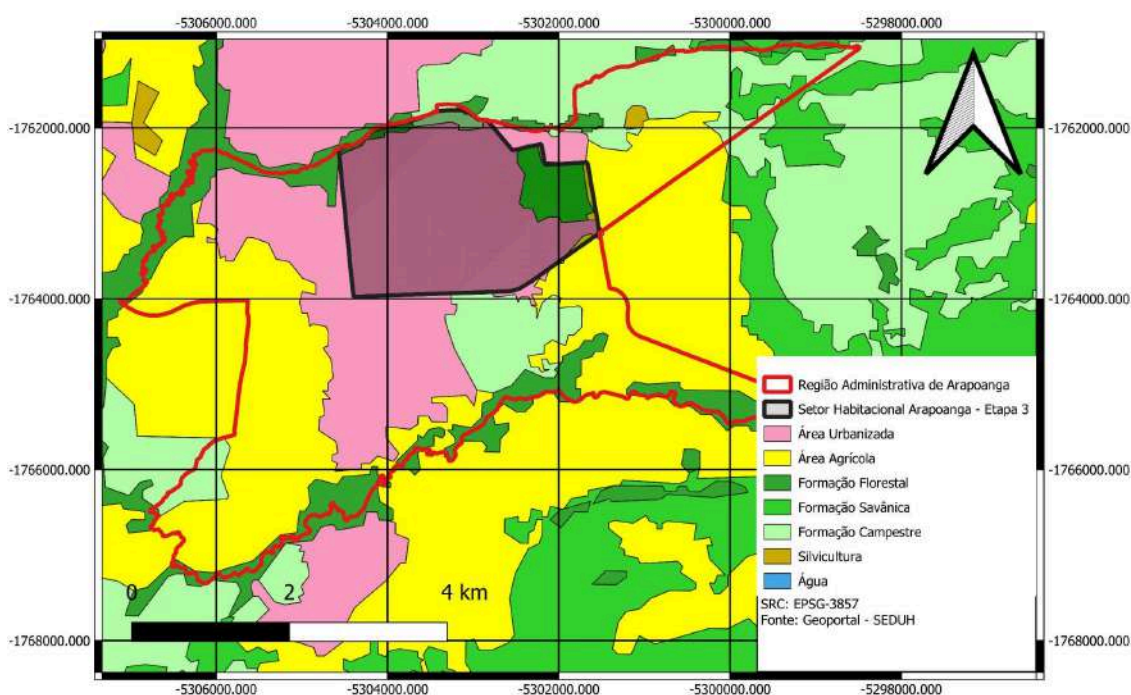


Figura 10 - Uso e Cobertura do Solo (2018).

Fonte: Geoportal - SEDUH (2023); Elaborado pelo autor (2023).

O Setor Habitacional Arapoanga abrange um processo de parcelamento de Solo Urbano, denominado Reserva Nova Capital, da parte remanescente desocupada da Etapa 3 do Setor Habitacional Arapoanga, na Região Administrativa de Arapoanga – RA XXXIV, composto pela URB 144/2009 (35,52 hectares) e URB 145/2009 (36,88 hectares), divididas por conta do viário mas tratadas de forma integrada (SEI-GDF nº 00390-00002914/2019-69). Os projetos se amparam no Plano de Uso e Ocupação da Etapa 3 do Setor Habitacional Arapoanga, aprovado pelo CONPLAN em 2018 (SEI-GDF nº 392.001.266/2008).

O Plano de Uso de Ocupação da Etapa 3 apreciado pelo CONPLAN em 2018 apresentou as diretrizes para a área localizada no Setor Habitacional Arapoanga, integrando a



área de regularização de interesse social (ARIS Arapoanga 1) com a área desocupada, agora em parcelamento, conforme estabelecido na Estratégia de Regularização Fundiária definida pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) de 2009 (SEI-GDF nº 00390-00002914/2019-69).

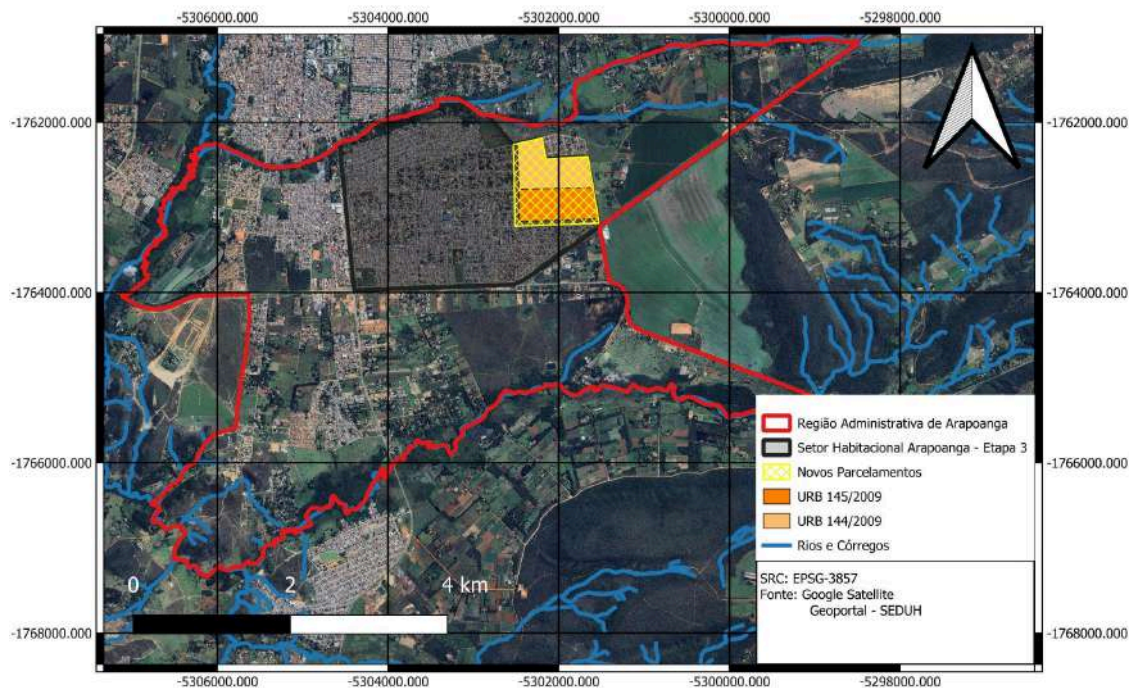


Figura 11 - Novos Parcelamentos Previstos.

Fonte: Geoport - SEDUH (2023); Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2 Modelagem do Sistema de Drenagem Pluvial Urbana com PCSWMM

No desenvolvimento da modelagem do sistema de drenagem pluvial urbana, empregou-se o software PCSWMM da CHiWater, na versão 7.6.3675, que corresponde ao modelo SWMM integrado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Essa ferramenta é disponibilizada gratuitamente a instituições acadêmicas e é amplamente utilizada no Distrito Federal para estudos relacionados à drenagem urbana (Elisa, 2020; Mitsuko, 2020; Koide, 2020).

O modelo SWMM acoplado ao SIG oferece uma abordagem abrangente e eficaz para a simulação do comportamento hidráulico e hidrológico de sistemas urbanos de drenagem pluvial urbana. A utilização desse programa é respaldada por estudos anteriores que demonstram sua eficácia em contextos semelhantes (Costa, 2013; Souza, 2014; Tsuji, 2019; De Paula, 2019; Fileni et al., 2019; Brito et al., 2020).

Os dados essenciais para a modelagem da rede foram fornecidos pela Novacap, através dos processos SEI-115524743 e 115525114, contemplando a área delimitada pelo Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3. Essa área delimitada é composta por 3 sub-bacias, sendo escolhida a sub-bacia 2 devido à qualidade dos dados apresentados pela Novacap.

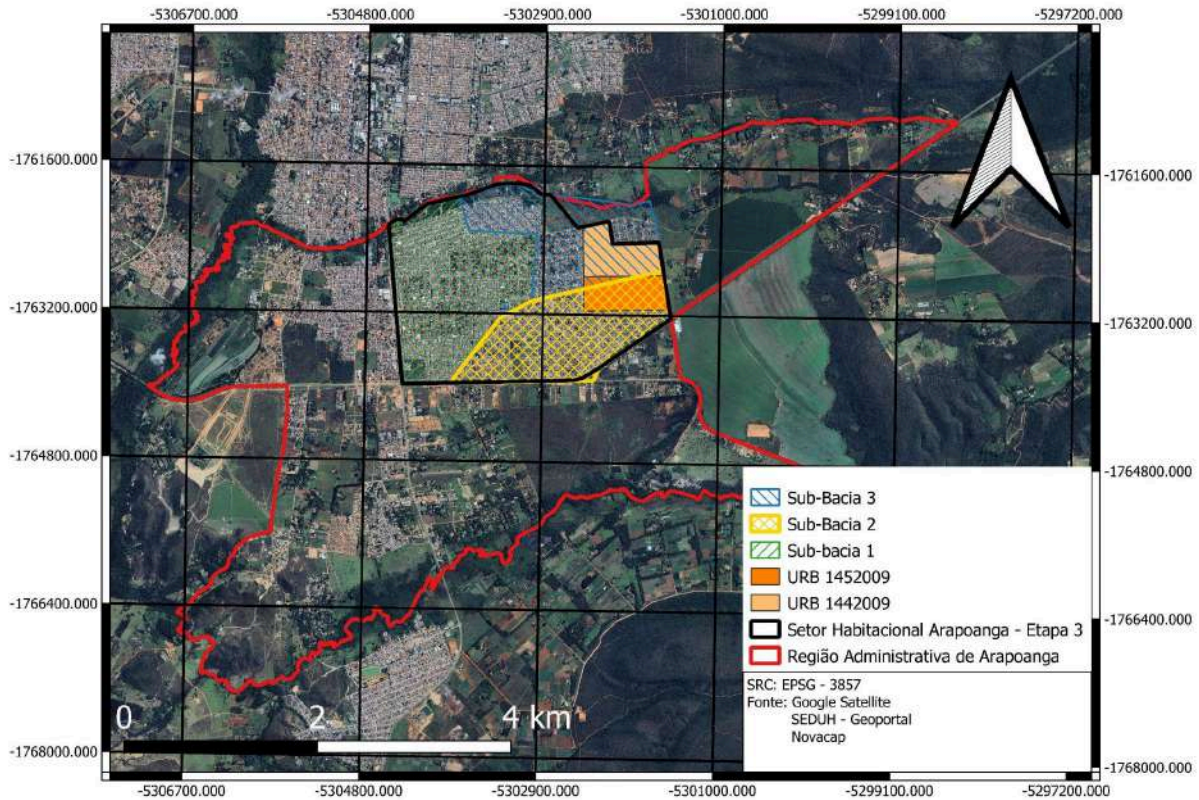


Figura 12 - Sub-Bacia 1, 2 e 3 do Setor Habitacional Arapoanga - Etapa 3.

Fonte: Geoportal - SEDUH (2023) e Novacap (2005); Elaborado pelo autor (2023).

Em resposta às solicitações formalizadas junto à Novacap, por meio dos processos SEI-115524743 e 115525114, foram obtidos os arquivos nos formatos DWG e PDF que detalham o sistema de drenagem pluvial urbana implementado nas imediações da área mencionada.

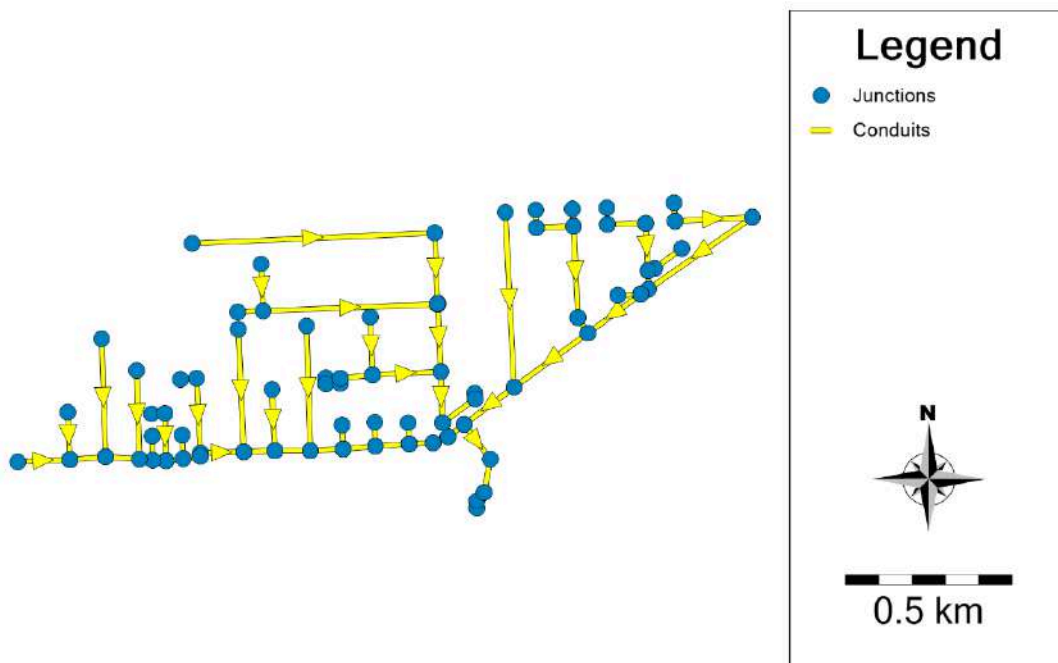


Figura 13 - Sistema de Drenagem Pluvial Urbana.  
 Fonte: Novacap (2005); Elaborado pelo autor (2023).

A delimitação das sub-bacias de contribuição e a definição dos nós, dos condutos e do exutório, foram realizadas conforme as informações fornecidas pela Novacap, permitindo uma representação precisa da rede de drenagem.

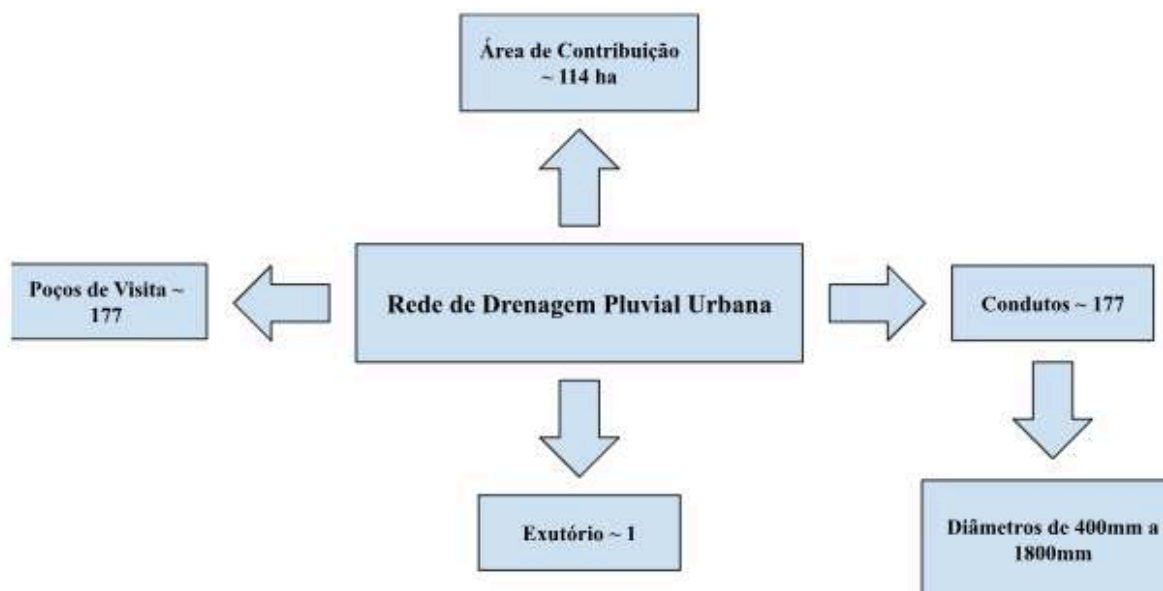


Figura 14 - Informações Fornecidas pela Novacap.  
 Fonte: Novacap (2005); Elaborado pelo autor (2023).

Cada sub-bacia foi tratada como um reservatório não linear, considerando o escoamento superficial por meio do modelo de propagação de fluxo de onda cinemática e empregando o modelo de infiltração de Horton, predeterminado pelo PCSWMM.

O modelo de infiltração de Horton, proposto por Robert E. Horton em 1933, é amplamente utilizado para entender o processo de infiltração de água da chuva no solo (Horton, 1933). Este modelo fornece uma abordagem matemática que descreve as diferentes fases desse processo.

Na simulação, foi aplicada uma abordagem de intensidade-duração-frequência (IDF) para estimar a incidência a ser utilizada na modelagem do sistema de drenagem pluvial urbana. Foram considerados valores de intensidade pluviométrica (mm/h) e altura de avanço (mm) para um Tempo de Retorno de 10 anos, extraídos da equação IDF - Brasília, considerando chuvas intensas com durações que variam de 5 a 120 minutos e períodos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos.

| INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (i) E ALTURA DE PRECIPITAÇÃO (P) |       |         |
|--|-------|---------|
| PERÍODO DE RECORRÊNCIA (ANOS)                              |       |         |
| DURAÇÃO (min)  | 10,00 |         |
|  | P(mm) | I(mm/h) |
| 5,00   | 18,22 | 218,61  |
| 10,00  | 28,65 | 171,90  |
| 15,00  | 35,58 | 142,32  |
| 20,00  | 40,61 | 121,83  |
| 25,00  | 44,48 | 106,74  |
| 30,00  | 47,58 | 95,15   |
| 35,00  | 50,14 | 85,95   |
| 40,00  | 52,30 | 78,46   |
| 45,00  | 54,17 | 72,23   |
| 50,00  | 55,81 | 66,97   |



|        |       |       |
|--------|-------|-------|
| 55,00  | 57,26 | 62,47 |
| 60,00  | 58,56 | 58,56 |
| 65,00  | 59,74 | 55,14 |
| 70,00  | 60,81 | 52,12 |
| 75,00  | 61,79 | 49,43 |
| 80,00  | 62,70 | 47,02 |
| 85,00  | 63,54 | 44,85 |
| 90,00  | 64,33 | 42,88 |
| 95,00  | 65,06 | 41,09 |
| 100,00 | 65,75 | 39,45 |
| 105,00 | 66,40 | 37,94 |
| 110,00 | 67,02 | 36,55 |
| 115,00 | 67,60 | 35,27 |
| 120,00 | 68,15 | 34,08 |

Quadro 1 - Intensidade Pluviométrica e Altura de Precipitação.

Fonte: Novacap (2017).

A incorporação dos dados para a modelagem da rede, fornecidos pela Novacap, envolvendo a consideração de cada sub-bacia como um reservatório não linear, o modelo de infiltração de Horton, predefinido pelo PCSWMM, empregado para representar o escoamento superficial, incorporado a propagação de fluxo de onda cinemática. Além da adoção de uma abordagem de intensidade-duração-frequência (IDF), utilizando dados provenientes da equação IDF - Brasília, que contempla uma chuva intensa com duração de 120 minutos e um período de retorno de 10 anos, conforme ilustrado na figura 15. A incorporação desses dados proporciona uma análise abrangente do comportamento do sistema diante de um evento pluvial significativo.

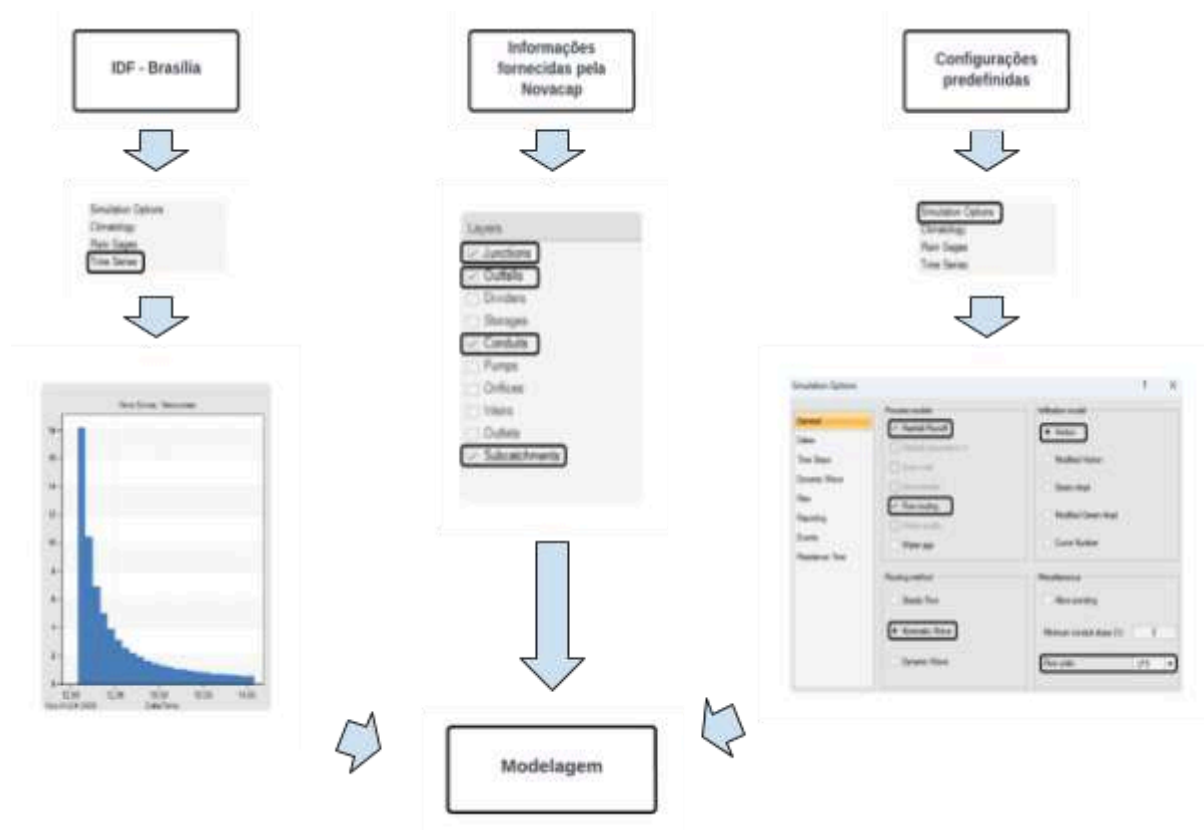


Figura 15 - Fluxograma de Modelagem.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 5. RESULTADOS

Os resultados foram analisados em três partes distintas: Análise das Estruturas Inundadas nas Simulações, Análise da Capacidade de Transporte dos Condutores e Análise das Profundidades das Lâminas Superficiais nos Condutores. Essa abordagem foi adotada para proporcionar uma compreensão abrangente do desempenho do sistema de drenagem pluvial no Setor Habitacional Arapoanga.

### 5.1 Análise das Estruturas Inundadas nas Simulações:

A simulação do sistema de drenagem pluvial proporcionou a identificação de pontos de visitas que excederam as lâminas d'água máximas de 3,14 metros (Novacap, 2005), apresentando alagamento e extravasamento durante a simulação do sistema, evidenciando a necessidade de disposições específicas nessas regiões. Esses pontos críticos apresentaram-se espalhados por todo o sistema de drenagem em diferentes períodos da simulação.

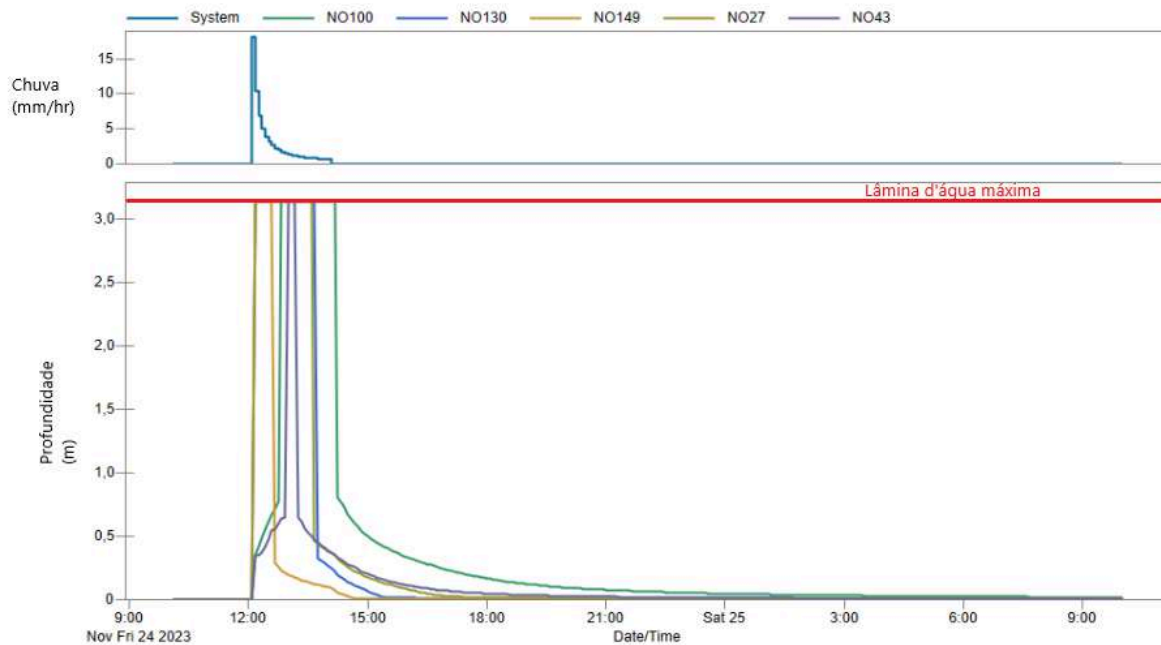


Figura 16 - Poços de visitas que excederam as lâminas d'água máximas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em contrapartida, a simulação identificou poços de visitas que apresentaram uma resposta adequada durante a simulação do sistema de drenagem pluvial.

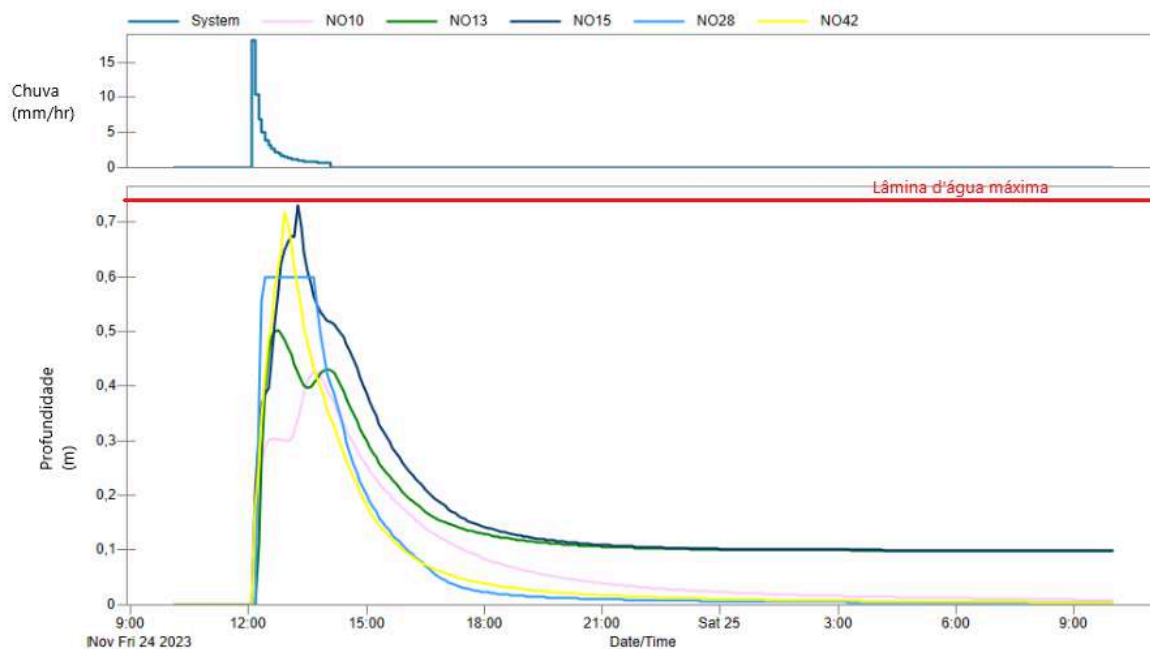


Figura 17 - Poços de visitas que apresentaram uma resposta adequada.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 5.2 Análise da Capacidade de Transporte dos Condutores:

A simulação do sistema de drenagem pluvial proporcionou uma compreensão da capacidade de transporte dos condutos, permitindo avaliar se o sistema atual é eficientemente capaz de lidar com o volume de água gerado durante eventos pluviais. Os resultados evidenciaram que a precipitação resultou em um fluxo total máximo de escoamento de 2.029 l/s que excedeu a capacidade máxima do sistema de drenagem pluvial urbana de 240 l/s. Essa constatação destaca a necessidade de considerar intervenções e melhorias no sistema para reduzir a quantidade de inundações máximas de 481 l/s, para aprimorar sua capacidade de resposta em situações de chuvas intensas.

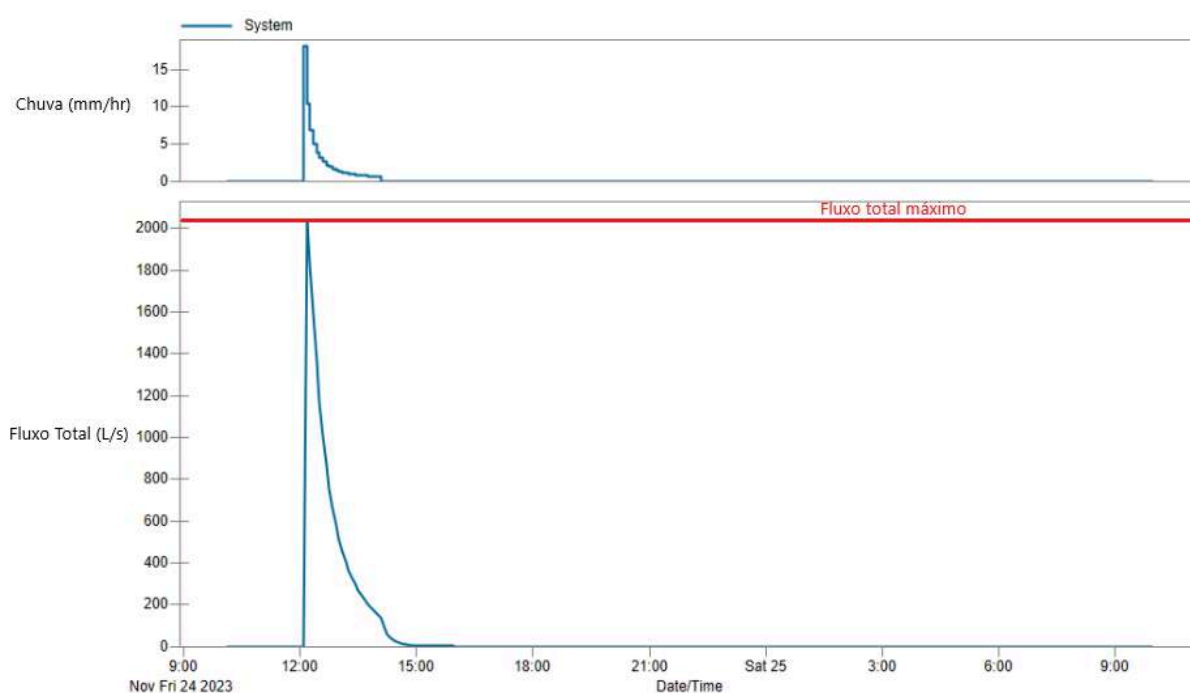


Figura 18 - Fluxo total máximo de escoamento (L/s).

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

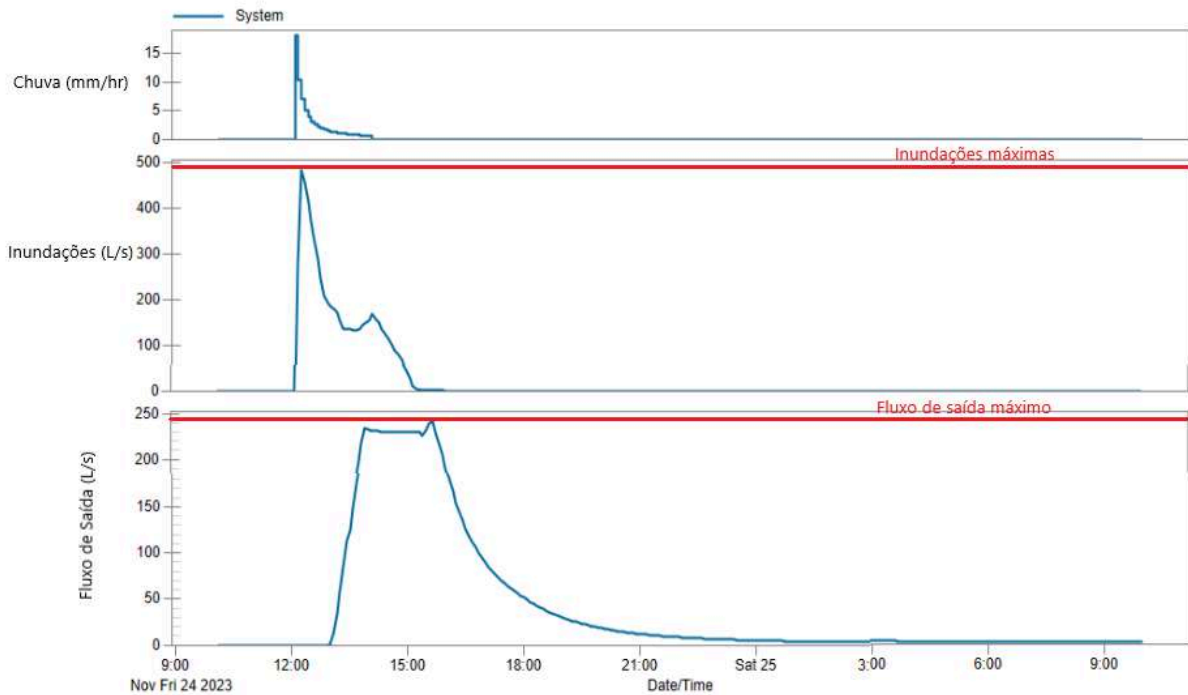


Figura 19 - Inundações máximas (L/s) e Fluxo de Saída máximo (L/s).

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 5.3 Análise das Profundidades das Lâminas Superficiais nos Condutores:

A simulação do sistema de drenagem pluvial permitiu uma compreensão aprofundada da distribuição da água ao longo do sistema e de como isso afetou os condutos. Os resultados revelaram que alguns condutos principais e secundários excederam as lâminas d'água máximas estipuladas pela Novacap (2019), atingindo valores próximos ou superiores aos 82%. Esse cenário eleva o risco de pressurização e, conseqüentemente, aumenta a incidência de alagamentos, indicando a necessidade de revisão e possível ajuste nas estratégias de gestão e controle do sistema.

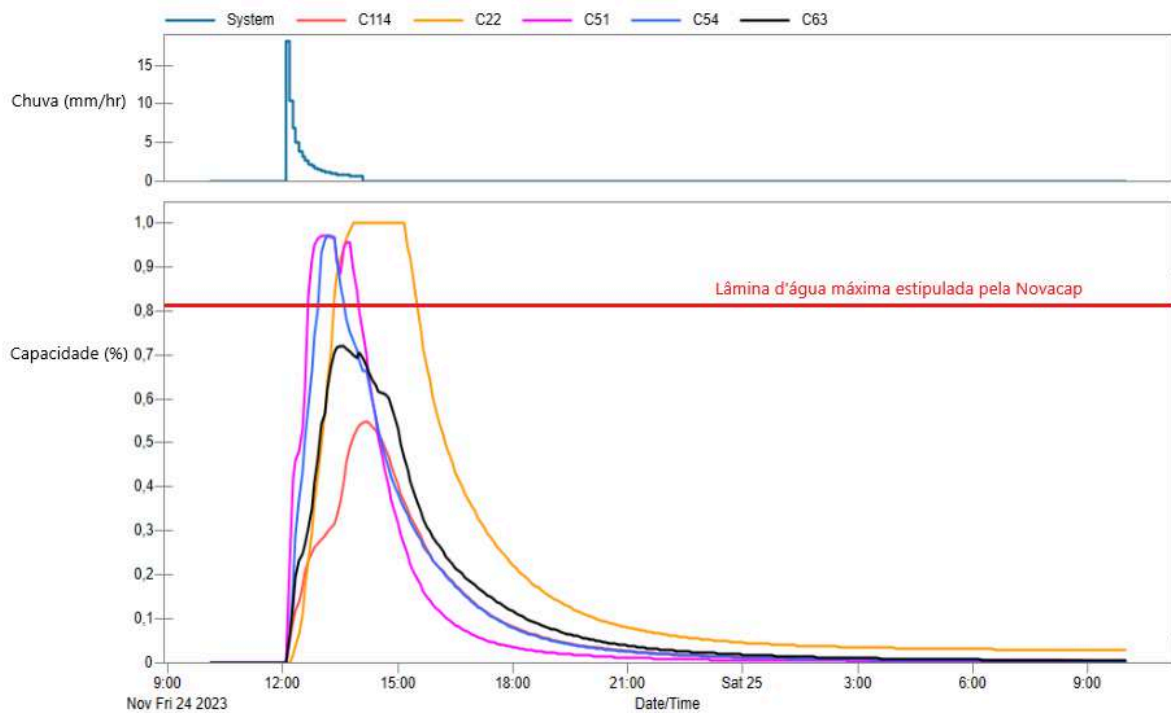


Figura 20 - Conduitos que excederam as lâminas d'água máximas estipuladas pela Novacap.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em contrapartida, é relevante observar que alguns conduitos secundários apresentaram uma resposta adequada durante a simulação do sistema de drenagem pluvial.

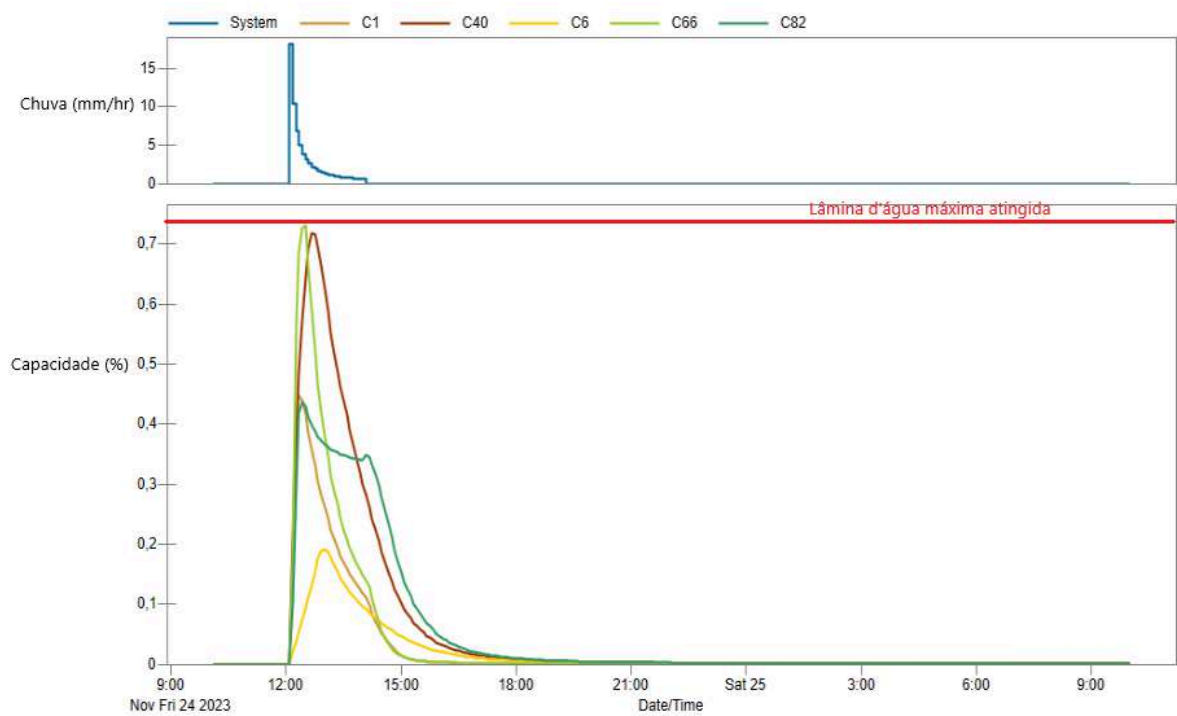


Figura 21 - Conduitos que apresentaram uma resposta adequada durante a simulação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os condutos principais e secundários apresentaram desempenho variado durante a simulação do evento pluvial, com alguns ultrapassando as lâminas d'água máximas permitidas pela Novacap (2019). Houve identificação de pontos críticos em diferentes períodos da simulação, evidenciando a complexidade do sistema de drenagem e sua resposta heterogênea aos eventos pluviais.

A simulação revelou que a precipitação gerou um volume total de escoamento que excedeu a capacidade do sistema de drenagem pluvial urbana para lidar com eventos pluviais significativos. Esse excedente revelou áreas críticas propensas a alagamentos, destacando a necessidade de medidas preventivas e melhorias localizadas para mitigar os impactos nas diferentes regiões do sistema de drenagem.

O avanço do uso e da cobertura do solo no Setor Habitacional Arapoanga, tanto na área já urbanizada quanto na área prevista para novos parcelamentos, pode agravar o sistema de drenagem pluvial urbana, conforme evidenciado pelos dados fornecidos pelo Geoportal e pela simulação do evento pluvial. Vale ressaltar a necessidade de informações precisas sobre o avanço do uso e da cobertura do solo para identificar o impacto real causado no sistema de drenagem, destacando a importância da colaboração entre companhias e pesquisadores na coleta desses dados.

A necessidade de manutenção e melhoria na infraestrutura do sistema de drenagem é evidente, especialmente nos pontos críticos identificados. Isso pode envolver a ampliação da estrutura existente e a implementação de práticas sustentáveis de drenagem, como a construção de áreas permeáveis e de infiltração, telhados verdes e paredes verdes, adequadas à situação socioeconômica do Setor Habitacional Arapoanga. Considerando a importância do PCSWMM no planejamento de drenagem sustentável, é recomendável que as companhias e pesquisadores colaborem para desenvolver estratégias inovadoras de gestão sustentável das águas pluviais para o Setor Habitacional Arapoanga.

A principal limitação do estudo é a ausência de dados adequados para a validação do modelo PCSWMM. A falta de informações precisas compromete a precisão das simulações e destaca a importância do fornecimento regular de dados pelas autoridades competentes. Porque dados precisos e atualizados são fundamentais para a calibração e validação contínuas do modelo PCSWMM. Para preencher as lacunas de dados identificadas, é crucial um maior envolvimento e colaboração entre as companhias e instituições de pesquisa. O

compartilhamento de dados e informações contribuirá significativamente para a validação do modelo PCSWMM.

Ao abordar essas descobertas e implementar recomendações, a gestão e o planejamento urbano podem ser aprimorados, promovendo resiliência diante de eventos pluviais e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

## 7. REFERÊNCIAS

3º Setor. Falta de água potável e poluição dos rios preocupa brasileiros (2023). Disponível em:

<<https://observatorio3setor.org.br/noticias/falta-de-agua-potavel-e-poluicao-dos-rios-preocupa-brasileiros/>>. Acesso em: 20/12/2023.

Adasa. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA (PDDU-DF). Disponível em <<https://portalhomolog.adasa.df.gov.br/drenagem-urbana/plano-diretor-de-drenagem-urbana-pddu-df>>. Acesso em: 01/12/2023.

Agência Brasília. Poços permitem manutenção na rede de drenagem do Túnel de Taguatinga (2022). Disponível em:

<<https://www.flickr.com/photos/agenciabrasilia/52448672880/in/photostream/>>. Acesso em 20/12/2023.

Araguaina Noticias. Prefeitura de Araguaina abre licitação para a construção demais tres bacias de detenção. Disponível em: <<https://araguainanoticias.com.br/noticia/prefeitura-de-araguaina-abre-licitacao-para-construcao-de-mais-tres-bacias-de-detencao/29854>>. Acesso em: 20/12/2023.

Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, 23(1), 1-26.

ARNOLD, J. et al. SWAT: Model use, calibration, and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 55, n. 4, p. 1491–1508, 2012.

Bartram, J., Brocklehurst, C., Fisher, M. B., et al. (2020). "Global Monitoring of Water Supply and Sanitation: History, Methods and Future Challenges." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4526.



Beecham, S., Burian S., McPhee Z., et al. (2020). "Green Stormwater Infrastructure: A Review of Case Studies in the United States." *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 6(4).

Bertrand-Krajewski, J. L. Wanko, A., Ten Veldhuis, J. A. E., et al. (2017). "The Governance of Water Services in Europe and the Role of Sustainable Urban Drainage Systems." *Water Resources Management*, 31(1), 187-201.

Brattebo, B. O., Booth, D. B., & Goetz, S. J. (2018). "Impacts of permeable pavement on subsurface storage and nutrient transport." *Journal of Environmental Management*, 208, 77-85.

Brito, L. K. S., Costa, M. E. L. & Koide, S. (2020). Assessment of the Impact of Residential Urban Patterns of Different Hillslopes on Urban Drainage Systems and Ecosystem Services in the Federal District, Brazil. *Sustainability*, 12(14), 5859.

Brown, D., et al. (2020). Benefícios do telhado verde em Melbourne. *Jornal de Ecologia Urbana*, 42(2).

Chen, X., Li, Y., Xiao, W., et al. (2016). "An overview of a sustainable urban drainage system (SuDS) and its performance in treating urban stormwater." *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 10(4), 581-591.

Chui, T. F. M., Kafle, B., & Sarker, D. (2019). "Urban runoff quality and quantity: current practices and challenges." *Journal of Environmental Management*, 250, 109461.

CODEPLAN. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (2021). Relatório CODEPLAN - Distrito Federal. Disponível em <[chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjjiahp/https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/PDAD-DF\\_2021.pdf](chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjjiahp/https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/PDAD-DF_2021.pdf)>. Acesso em: 01/12/2023.

CODEPLAN. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (2021). Relatório CODEPLAN - Planaltina (Arapoanga). Disponível em <<chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjjiahp/https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/Arapoanga.pdf>>. Acesso em: 01/12/2023.

CODEPLAN. Processo SEI-GDF nº 00390-00002914/2019-69. Parcelamento do Solo Urbano, denominado Reserva Nova Capital, da parte remanescente desocupada da Etapa 3 do

setor Habitacional Arapoanga, na Região Administrativa de Planaltina – RA VI. Disponível em

<<chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiahp/https://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Item-2.2-Relato-Setor-Habitacional-Arapoanga-Renat-Florentino-CONDEPLAN-12-08-2021.pdf>>. Acesso em: 01/12/2023.

Costa, M.E.L (2013). Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p.

De Paula, A.C.V. (2019). Estudo experimental e modelagem da lagoa de retenção do guará – DF: comportamento no amortecimento de cheias e na alteração da qualidade da água. Dissertação De Mestrado Em Tecnologia Ambiental E Recursos Hídricos da Universidade de Brasília.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal — PDOT e dá outras providências. Disponível em <[https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/60298/Lei\\_Complementar\\_803\\_25\\_04\\_2009.html](https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/60298/Lei_Complementar_803_25_04_2009.html)>. Acesso em: 01/12/2023.

DISTRITO FEDERAL. LEI Nº 7.190, DE 21 DE DEZEMBRO DE 2022. Cria a Região Administrativa de Arapoanga – RA XXXIV e dá outras providências. Disponível em <[https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/164ced441f82436993efa9448246e377/Lei\\_7190\\_21\\_12\\_2022.html#:~:text=LEI%20N%C2%BA%207.190%2C%20DE%2021%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202022&text=Cria%20a%20Regi%C3%A3o%20Administrativa%20de,Administrativa%20de%20Arapoanga%20%E2%80%93%20RA%20XXXIV](https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/164ced441f82436993efa9448246e377/Lei_7190_21_12_2022.html#:~:text=LEI%20N%C2%BA%207.190%2C%20DE%2021%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202022&text=Cria%20a%20Regi%C3%A3o%20Administrativa%20de,Administrativa%20de%20Arapoanga%20%E2%80%93%20RA%20XXXIV)>. Acesso em: 01/12/2023.

Ecotelhado. UNISINOS EXPANDE CAMPUS E INVESTE EM VISUAL INOVADOR E VERDE. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/universidade-unisinos-rs/>>. Acesso em: 20/12/2023.

Elisa, Maria; Mitsuko, Thays; Koide, Sergio. Modelagem hidrológica e hidráulica usando o SWMM -Storm Water Management Model na bacia urbana do Riacho Fundo I - Distrito

Federal. Disponível em <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11458/10253>>. Acesso em: 01/12/2023.

Fletcher, TD e Andoh, RY (2018). Gestão de águas pluviais urbanas no contexto das mudanças climáticas: uma revisão. *Avaliações Ambientais*, 26(4), 490-501.

Fileni, F. Costa, M. E.L. & Alves, C. M. A. (2019). The application of LIDs in the Savanna region for mitigation of flooded areas. *RBRH*. 24.

FISRWG – The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream corridor restoration: principles, processes and practices. Federal agencies of the US gov't, 1998.

Geoportal. Disponível em <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>>. Acesso em: 01/12/2023.

Gleick, P. H. Adams, R. M., White, K. D. Chen, L. (2018). "Water Balance of Global Agroecosystems." *Journal of Hydrology*, 1000, 385-399.

Globo. Deslange Paiva e Gustavo Honório (2023). Disponível em <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/03/21/prefeitura-de-sp-utilizou-ate-agora-apanas-4percent-da-verba-destinada-ao-combate-a-enchentes-e-alagamentos-na-cidade-em-2023.ghtml>>. Acesso em 20/12/2023.

Grafton, R. Q., Williams, J., Perry, C. J., et al. (2018). "The Paradox of Water: Combining the Strengths of Engineering, Resilience, and Sustainability for Water Management." *WIREs Water*, 5(6), e1307.

Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). "What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management." *Urban development series; knowledge papers*, no. 15. World Bank.

Horton, RE (1933). O papel da infiltração no ciclo hidrológico. *Transações da União Geofísica Americana*, 14 , 446-460.

Hunt, W. F., Smith, J. T., Jablonski, S. J., et al. (2019). "Stormwater runoff reduction and pollutant removal performance of a permeable interlocking concrete pavement." *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(2), 04019056.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (2021). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html>>. Acesso em: 20/12/2023.

Johnson, MS, et al. (2018). O papel dos modelos hidrológicos na gestão de águas pluviais: uma revisão. *Jornal de Hidrologia*, 561, 266-279.

Johnson, R., et al. (2018). Requisitos de dados para modelagem SWMM. *Jornal de Hidroinformática*, 12(1).

Jorgensen, G., Kessler, A. e Wiberg, D. (2018). Calibração e validação de modelos hidrodinâmicos para gestão de águas pluviais em áreas urbanas. *Diário da Água Urbana*, 15(7), 649-657.

Josias, Igor; Elisa, Maria; Maria, Conceição. MODELAGEM DA DRENAGEM URBANA –ESTUDO DE CASO NA REDEDA ASA NORTE, BRASÍLIA - DF. Disponível em <[chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://www.researchgate.net/profile/Maria-Elisa-Costa-2/publication/321945877\\_MODELAGEM\\_DA\\_DRENAGEM\\_URBANA-ESTUDO\\_DE\\_CASO\\_NA\\_REDE\\_DA\\_ASA\\_NORTE\\_BRASILIA-DF/links/5a3a7d7aaca2728e698a9efe/MODELAGEM-DA-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-NA-REDE-DA-ASA-NORTE-BRASILIA-DF.pdf](chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://www.researchgate.net/profile/Maria-Elisa-Costa-2/publication/321945877_MODELAGEM_DA_DRENAGEM_URBANA-ESTUDO_DE_CASO_NA_REDE_DA_ASA_NORTE_BRASILIA-DF/links/5a3a7d7aaca2728e698a9efe/MODELAGEM-DA-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-NA-REDE-DA-ASA-NORTE-BRASILIA-DF.pdf)>. Acesso em: 01/12/2023.

Kim, H. W., Lee, J. H., Shin, H. S., et al. (2021). "A review of sustainable urban stormwater management practices in Korea: From rain gardens to sponge cities." *Journal of Environmental Management*, 287, 112251.

Kümmerer, K., Hempel, M., Schänzle, V., et al. (2019). "Water Quality Criteria for the Protection of the Aquatic Environment." *Ecological Quality of Water*, 25-37.

Les pavés alvéolés permettent une gestion des eaux pluviales sur la parcelle. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Pav%C3%A9\\_alv%C3%A9ol%C3%A9.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Pav%C3%A9_alv%C3%A9ol%C3%A9.jpg)>. Acesso em: 20/12/2023.

Lopes, Felipe. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA POR SIMULAÇÕES 1D-2D. Disponível em <[chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://bdm.unb.br/bitstream/10483/31386/1/2021\\_FelipeLopesDamasceno\\_tcc.pdf](chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://bdm.unb.br/bitstream/10483/31386/1/2021_FelipeLopesDamasceno_tcc.pdf)>. Acesso em: 01/12/2023.

Novacap. TERMO DE REFERÊNCIA E ESPECIFICAÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL EM PEAD NO DISTRITO FEDERAL (2017). Disponível em <chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://www.novacap.df.gov.br/w-p-content/uploads/2019/08/Termo-de-Refer%C3%A0ncia-de-Projetos-de-Drenagem-em-PEAD.pdf>. Acesso em: 01/12/2023.

Restucci, Gabriela. RESERVATÓRIOS DE QUALIDADE E QUANTIDADE: ESTUDO DE CASO EM SANTA MARIA - DF. Disponível em <chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://bdm.unb.br/bitstream/10483/31324/1/2020\_GabrielaRestucciParanayba\_tcc.pdf>. Acesso em: 01/12/2023.

ROSSMAN, L. A. Storm Water Management Model User 's Manual. n. EPA/600/R-14/413b, p. 1–353, 2015. Disponível em: <http://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.

Savi, T., Wittmann, C., Alberti, L., et al. (2019). "Green Roofs as a Means of Water Sensitive Urban Design: A Review." *Water*, 11(7), 1447.

Sharma, A. K., Cook, B. R., & Sharma, S. (2020). "Urban Water Management: Process, Technology, and Impact." In *Urban Water Reuse Handbook* (pp. 3-26). CRC Press.

Silva, C. N., James, A. L., Bari, M. A., et al. (2017). "Incorporating soil moisture–atmosphere feedbacks into the Australian community climate and earth system simulator (ACCESS)." *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science*, 67(1), 45-68.

Smith, A., Jones, B. (2021). Gestão Sustentável de Águas Pluviais em Portland. *Jornal de Engenharia Ambiental*, 147(3).

Smith, D. I., & Burian, S. J. (2018). "Urban Flooding and Stormwater Management: The Role of Climate Change." *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 4(2), 04018009.

Smith, D. I., Booth, D. B., & Lindhjem, C. E. (2018). "Hydrologic and Water Quality Performance from an LID Stormwater Management System in Portland, Oregon." *Water Resources Management*, 32(3), 935-951.

Smith, J. e Brown, M. (2019). Avanços na gestão de águas pluviais urbanas: indo além do MS4. *Jornal de Hidrologia*, 568, 377-391.

Smith, J., Brown, M. (2019). Modelo de gestão de águas pluviais (SWMM): uma ferramenta abrangente para drenagem urbana. *Modelagem Ambiental*, 28(4).

Souza, F. P. (2014). Monitoramento e Modelagem Hidrológica da Sub-bacia do Lago Paranoá – Brasília/DF – e Avaliação de Bacias de Detenção. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p.

Sun, S. e Burns, MJ (2017). Desempenho de gestão de águas pluviais de telhados verdes e pavimentos permeáveis usando PCSWMM. *Jornal de Hidrologia*, 545, 550-560.

Tan, L., Wang, C. (2019). Gestão Sustentável de Águas Pluviais Urbanas em Cingapura. *Gestão de Recursos Hídricos*, 33(5).

Trenberth, K. E., Daí, A., van der Schrier, G., et al. (2020). "Global warming and changes in drought." *Nature Climate Change*, 10(10), 828-838.

Tsuji, T. M., Costa, M. E. L., & Koide, S. (2019). Diffuse pollution monitoring and modeling of small urban watersheds in Brazil Cerrado. *Water Science and Technology*, 79, 1912-1921.

Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., et al. (2015). "Global threats to human water security and river biodiversity." *Nature*, 467(7315), 555-561.

Ward, S., Ewen, J., Gersonius, B., et al. (2017). "Stormwater flood risk assessment for adaptation planning in highly urbanized catchments." *Journal of Hydrology*, 548, 727-738.

White, S., et al. (2017). Aplicações SWMM em Planejamento Urbano. *Revista de Cidades Sustentáveis*, 23(6). CHI (Computacional Hidráulica Internacional). (2021). PCSWMM - Modelo de Gestão de Águas Pluviais. Recuperado de <https://www.chiwater.com/products/pcswmm>

Zhang, Q., Duan, W., & Zhao, L. (2019). "Challenges and opportunities for sustainable stormwater management in urban areas." *Environmental Science and Pollution Research*, 26(15), 14993-15009.