

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ESTUDO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA
PARTE NORTE DO CAMPUS DARCY RIBEIRO - UnB**

ANA PAULA BRANDÃO COSTA E SOUZA

**ORIENTADOR: SÉRGIO KOIDE, PhD
COORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: JANEIRO/2021

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ESTUDO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA
PARTE NORTE DO CAMPUS DARCY RIBEIRO - UnB**

ANA PAULA BRANDÃO COSTA E SOUZA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**SERGIO KOIDE, PhD (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)**

**ARTHUR SCHLEICHER, Msc. (ENC/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**HELENA ZANELLA MSc. (Vinculação)
(EXAMINADORA EXTERNA)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 27 DE JANEIRO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, ANA PAULA BRANDÃO COSTA

xii, 89 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2020)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. PCSWMM 2D

2. Drenagem Urbana

3. Universidade de Brasília

4. LID

I. ENC/FT/UnB

II. Título(série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Souza, A.P.B.C. (2020). Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 89p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTORA: Ana Paula Brandão Costa e Souza

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Estudo do Escoamento de Águas Pluviais na Parte Norte do Campus Darcy Ribeiro – UnB.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ana Paula Brandão Costa e Souza
brandaoc.anapaula@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que providenciou tudo que me foi necessário para essa conquista, desde o início realizando o improvável até o fim cuidando dos detalhes nos desafios diários, a todo momento eu pude enxergar de uma forma muito nítida a sua divina intervenção. À Nossa Senhora, a quem recorri tantas vezes por sua poderosa intercessão e não fui desamparada em nenhuma delas. Gratidão a São José, quem foi exaltado pelo Eterno Pai, obedecido pelo Verbo Encarnado, favorecido pelo Espírito Santo e amado pela Virgem Maria, por todas as graças alcançadas por meio do teu auxílio.

À minha família, pela compreensão nas minhas ausências, pela tolerância nos momentos de estresse e por todo incentivo nos momentos em que eu estava mais frágil. Aos meus pais, João Márcio e Joana, por sacrificarem tanto por mim, por me apoiarem nas minhas decisões e pelos ensinamentos para perseverar mesmo frente às dificuldades a vida. Às minhas irmãs Mariana e Elisa, por todo companheirismo e ajuda não apenas nesse período de faculdade, mas principalmente pela amizade de vocês desde que eu sou. À minha tia Regina e tio Ciro, que me acolheram em sua casa, obrigada por tanta generosidade e atenção.

Ao professor Koide e à Maria Elisa, obrigada por todos os ensinamentos, orientações, por toda a paciência, por confiar um trabalho tão importante a mim e também que tem o meu perfil.

À tudo que eu vivi, sofri e aprendi na Universidade de Brasília, à todos os amigos que fiz, em especial à Luísa, que por tantas vezes fez papel de mãe, pai e irmã quando esses não estavam e, de fato, se tornou minha irmã nesses anos. Obrigada por todo o suporte, consolo e apoio. Aos meus amigos do 1/2014, Isa, Luísa, Bruna, Dani, Caçula, Liminha, Nonato, Spencer, Kaio, Camilla, Debs, M&Ms, Natália, Pedro, Rafael, Will, Richelle, essa é a melhor turma que a Engenharia Ambiental da UnB já teve, obrigada por me aturarem no meu mau humor de cansaço o dia inteiro, por toda ajuda acadêmica, pelas assistências técnicas de computador, pelas caronas, por todo o apoio, sem vocês nem teria toda a graça.

Aos meus amigos de fora, obrigada por entenderem a minha agenda completamente preenchida apenas pela UnB, por todo o estímulo, pela verdadeira amizade de vocês, que de longe ou de perto sempre me dão tanto carinho e amor.

Agradeço também à CHI Water, pela concessão da licença estudantil do programa PCSWMM 2D, ao Ricardo Jayme pelos dados fornecidos para este trabalho e ao grupo de pesquisa de monitoramento de águas pluviais (MAPLU) por toda a cooperação para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A inexistência de um desenvolvimento sustentável proporcionou a adoção da concepção higienista dos sistemas de drenagem por muito tempo. Alinhada ao crescimento da urbanização em todo o mundo, os processos de ocupação das cidades implicaram em drásticos aumentos de impermeabilização da superfície, o que leva a uma menor taxa de infiltração dentro dos processos hidrológicos e, conseqüentemente, a um aumento do escoamento superficial, levando à ocorrência de alagamentos e inundações.

Assim, surgiram os sistemas de drenagem alternativos, que integram a drenagem urbana aos demais elementos do saneamento básico e propõem a implantação de dispositivos sustentáveis. Essa nova proposta abrange diversas vertentes, entre elas o Low Impact Development (LID), que dispõe de técnicas compensatórias como valas de infiltração.

A Universidade de Brasília é um exemplo dos impactos negativos desse sistema de drenagem higienista pois, desde a década de 1970, passa por diversos eventos de inundação e alagamentos devido a uma vazão muito alta que recebe da região de montante.

Dessa forma, esse trabalho se propôs a estudar o sistema de drenagem existente e os caminhos das águas pluviais na superfície na região do ICC Norte e FT e propor algumas alternativas para mitigar os problemas com inundações. Foram simulados quatro cenários, um cenário base com a situação atual, um cenário com a implantação de três valas em série no estacionamento do ICC Norte e uma vala em frente à Unidade de Laboratórios de Ensino de Graduação (ULEG), outro cenário com a instalação de uma calha junto a uma lombada com altura modificada e uma vala no canteiro da ULEG e, por fim, um cenário em que se propõe a instalação dessa mesma calha junto à lombada e quatro valas interligadas por drenos no canteiro da ULEG.

Verificou-se que, dos cenários apresentados, apenas o segundo é realmente efetivo, pois reduziu em muito o acúmulo de água em frente aos prédios do ICC Norte e da ULEG e também o escoamento superficial produzido pelas sub-bacias. Os outros cenários não apresentaram resultados satisfatórios, pois os acúmulos continuaram intensos e o escoamento superficial da sub-bacias analisadas não teve uma redução significativa.

Apesar dos resultados satisfatórios com relação ao segundo cenário simulado, é necessário que se trabalhe com múltiplas barreiras, pois analisando o padrão do acúmulo de água em frente ao ICC Norte, a proposta desse cenário não é, por si só, suficiente para a solucionar todo o problema de drenagem urbana existente na parte norte do campus.

Palavras-Chave: PCSWMM 2D, Drenagem Urbana, Universidade de Brasília, LID

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xi
LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GERAL	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .	3
3.1. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	3
3.2. SISTEMA DE DRENAGEM.....	6
3.2.1. Sistema de Drenagem Convencional	6
3.2.2. Sistema de Drenagem Sustentável	8
3.2.2.1. Low Impact Development (LID).....	9
3.2.2.2. Vala de Infiltração	12
3.3. GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO DISTRITO FEDERAL.....	16
3.4. MODELAGEM HIDRÁULICA-HIDROLÓGICA	19
3.4.1. SWMM.....	20
3.4.1.1. PCSWMM 2D	21
3.5. HISTÓRICO DAS INUNDAÇÕES NA UNB.....	22
4. METODOLOGIA	24
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
4.1.1. Localização	24
4.1.2. Clima e Solo.....	26

4.1.3. Geomorfologia e Relevo	27
4.1.4. Vegetação.....	28
4.1.5. Região da Faculdade de Tecnologia e Ala Norte do ICC.....	29
4.2. MODELAGEM MATEMÁTICA UTILIZANDO O PROGRAMA PCSWMM.....	31
4.2.1. Cenários de Simulação	35
4.2.1.1 Cenário 1 - Cenário Base	35
4.2.1.2. Cenário 2 - Cenário com Vala de Infiltração em Frente ao ULEG e Valas no ICC Norte	37
4.2.1.3. Cenário 3: Com vala de infiltração em frente à ULEG e modificação de uma lombada acompanhado de calha	39
4.2.1.4. Cenário 4: Com quatro valas em frente à ULEG e modificação de um quebra-molas acompanhado de uma calha	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1. CENÁRIO 1: BASE.....	47
5.2. CENÁRIO 2: COM VALA EM FRENTE AO ULEG E VALAS NO ICC... 52	
5.3. CENÁRIO 3: COM VALA DE INFILTRAÇÃO EM FRENTE À ULEG E MODIFICAÇÃO DE UMA LOMBADA ACOMPANHADA DE CALHA	59
5.4. CENÁRIO 4: COM QUATRO VALAS EM FRENTE AO ULEG E MODIFICAÇÃO DE UMA LOMBADA ACOMPANHADA DE UMA CALHA	65
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Alterações resultantes da urbanização (Schueler, 1987 apud Tucci, 2005).....	4
Figura 3.2 - Alterações nos volumes de balanço hídrico natural e urbano (valores indicativos) (TUCCI, 2007).	5
Figura 3.3 - Manilhas obstruídas por resíduos sólidos (Prefeitura de Laguna, 2018).	6
Figura 3.4 - Bocas de Lobo sendo desobstruídas no Distrito Federal (Pedro Ventura, 2012).	7
Figura 3.5 - técnicas de LID em (a) pavimento permeável; (b) telhado verde; (c) vala de infiltração; e (d) jardim de chuva (Ballard et.al., 2015).	10
Figura 3.6 - Representação da estrutura de uma vala de infiltração. (Ballard et al.,2015)..	12
Figura 3.7- Resultados obtidos na redução do volume de escoamento para tempos de retorno distintos (Bai, 2018).	14
Figura 3.8 - Representação conceitual de reservatório pelo SWMM (Garcia, 2005).	20
Figura 3.9- Fotos das inundações na UnB: (a), (b), (c) e (d) são de 2019; e (e) de 2009....	23
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia adotada.	24
Figura 4.2- Mapa de localização da área de estudo.	25
Figura 4.3- Região da FT e ICC Norte com Indicações dos Locais para Implementação de LIDs (Ricardo Jayme, 2020).	26
Figura 4.4- Mapa de Hipsometria da Área de Estudo.	27
Figura 4.5– Declividade da área.	28
Figura 4.6 - Uso e ocupação da área de estudo	30
Figura 4.7- Rede de drenagem utilizada para a área de estudo.	31
Figura 4.8 - Sub-bacias geradas para a área de estudo.	34
Figura 4.9 - Representação do Cenário Base.....	35
Figura 4.10 - Nós da malha 2D que receberam o hidrograma do flooding dividido por dez.	36
Figura 4.11- Representação do cenário 2	37
Figura 4.12- Estrutura das valas do cenário 2 com maior riqueza de detalhes.....	38
Figura 4.13 - Localização dos nós da malha que foram modificados	39
Figura 4.14 - Representação do cenário 3	40
Figura 4.15 - Representação da estrutura da calha dentro do PCSWMM 2D	41
Figura 4.16 - Detalhamento da calha e da lombada	42
Figura 4.17 – Representação do cenário 4.....	44

Figura 4.18 - Detalhamento das valas de infiltração do cenário 4	44
Figura 5.1- Sub-bacias de interesse na instalação das valas de infiltração.....	46
Figura 5.2- Comportamento do escoamento superficial no cenário base às 0h05, 0h15, 0h25, 0h30, 0h35 e 1h40 com TR = 2 anos.....	48
Figura 5.3- Comportamento do escoamento superficial no cenário base às 0h05,0h15, 0h30, 0h35,0h50 e 1h40 com TR = 5 anos.....	50
Figura 5.4- Comportamento do escoamento superficial no cenário base às 0h05,0h15, 0h30, 0h35,0h50 e 1h40 com TR = 10 anos.....	51
Figura 5.5 - Comportamento do escoamento superficial no cenário 2 às 0h05,0h10, 0h20, 0h35,0h50, 01h 1h40 com TR = 2 anos.....	54
Figura 5.6 - Comportamento do escoamento superficial no cenário 2 às 0h05,0h10, 0h20, 0h35,0h50, 01h 1h40 com TR = 5 anos.....	56
Figura 5.7- Comportamento do escoamento superficial no cenário 2 às 0h05,0h10, 0h20, 0h35,0h50, 01h 1h40 com TR = 10 anos.....	58
Figura 5.8- Comportamento do escoamento superficial no cenário 3 às 00h05, 0h15, 0h20, 0h25, 0h30, 1h40com TR = 2 anos.....	61
Figura 5.9- Comportamento do escoamento superficial no cenário3 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 5 anos.....	63
Figura 5.10 - Comportamento do escoamento superficial no 3 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 10 anos.....	64
Figura 5.11- Comportamento do escoamento superficial no cenário 4 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 TR = 2 anos	67
Figura 5.12- Comportamento do escoamento superficial no cenário 4 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 5 anos.....	69
Figura 5.13- Comportamento do escoamento superficial no cenário 4 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 10 anos.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Aspectos limitantes para a implantação de estruturas de infiltração.....	13
Tabela 4.1 - Valores de CN referentes ao método SCS utilizado.....	34
Tabela 4.2 Valores de Pico dos Hidrogramas.....	37
Tabela 4.3 - Dimensões das valas do cenário 2.....	38
Tabela 4.4 - Dimensões das valas do cenário 4.....	43
Tabela 5.1 - Valores de Escoamento Superficial das Sub-bacias no Cenário Base com TR = 2, 5, e 10 anos.	47
Tabela 5.2 - Escoamento superficial das sub-bacias no cenário 2 com TRs = 2, 5, e 10 anos	53
Tabela 5.3– Vazão máxima das sub-bacias no cenário 3 com TR = 2, 5, e 10 anos.....	59
Tabela 5.4 - Vazão máxima das sub-bacias no cenário 4 com TR = 2 anos.	66
Tabela 5.5 - Vazão máxima das sub-bacias no cenário 4 com TR = 5 anos.	68
Tabela 5.6 - Valores de escoamento superficial das sub-bacias no cenário 4 com TR = 10 anos.....	70

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1	32
Equação 4.2	35

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

Adasa- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

APP- Área de Preservação Permanente

BMPs- Best Management Practices

CN- Curva Número

Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FT- Faculdade de Tecnologia

IMP- Práticas de Gerenciamento Integrado

LID- *Low Impact Development*

PDDU- Plano Distrital de Drenagem Urbana

UnB- Universidade de Brasília

SUDS- *Sustainable Urban Drainage Systems*

WSUD- *Water Sensitive Urban Design*

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional é uma tendência mundial e influencia no aumento da urbanização. Historicamente, em função do desconhecimento sobre desenvolvimento sustentável e da concepção higienista dos sistemas de drenagem, o processo de ocupação das cidades levou a aumentos de impermeabilização da superfície em áreas construídas e em sistemas para rápida evacuação da água pluvial para jusante.

Os efeitos mais diretos provocados por uma urbanização sem planejamento sustentável, são fenômenos como inundações, alagamentos e aumento da poluição dos corpos d'água. Porém, também existem fatores mais complexos relacionados, como por exemplo as questões climáticas, que incluem mudanças climáticas e a intensificação das ilhas de calor que podem levar a potenciais desdobramentos negativos, inclusive na precipitação.

A exemplo desses impactos negativos de urbanização, desde a década de 1970, a Universidade de Brasília passa por diversos eventos de inundação e alagamentos. Na última década, a ala Norte do Instituto Central de Ciências - ICC tem sido um dos pontos mais problemáticos em relação à questão, além de novos problemas identificados, como o da Faculdade de Tecnologia – FT, também afetada nas ocorrências de inundações há muitos anos.

No âmbito da drenagem urbana, têm sido propostas alternativas ao sistema de drenagem convencional para que seja possível pensar na drenagem urbana de uma forma integrada aos demais elementos do saneamento básico, como propõem as normativas mais recentes. Os sistemas de drenagem sustentável, entre elas o *Low Impact Development (LID)*, propõem diversas técnicas compensatórias como valas de infiltração, trincheiras, e pavimentos permeáveis. Essa ideia tem como objetivo principal a aproximação dos cenários urbanos às suas condições anteriores à urbanização.

Nesse contexto, este trabalho estudou o fluxo do escoamento superficial e propõe alternativas para mitigar os problemas com inundações na região do ICC Norte e FT, incluindo soluções de baixo impacto, como valas de infiltração, calhas e modificações na estrutura de escoamento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O trabalho teve por objetivo estudar os problemas de inundação da Faculdade de Tecnologia e da ala norte do Instituto de Ciências Central, na Universidade de Brasília, e propor soluções, incluindo utilização de técnicas de manejo de águas pluviais de baixo impacto.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos consistiram em:

- Analisar os caminhos do escoamento superficial durante evento críticos por meio de simulações do fluxo em 2 dimensões na área de estudo.
- Analisar a viabilidade de implantação de soluções não convencionais de acordo com as características físicas do terreno e da infraestrutura existente na área.
- Avaliar desempenho das alternativas propostas na redução das vazões e volumes escoados em direção às edificações analisadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

A urbanização é um fenômeno que está ligado ao crescimento populacional, o que é uma tendência em grande parte do mundo. Historicamente, a urbanização sempre esteve atrelada à extrema impermeabilização e a drásticas modificações no uso e ocupação do solo.

Os fatores que influenciam a circulação da água são numerosos, conforme destacam Carvalho e Silva (2006), a quantidade de água e a velocidade de circulação nas diferentes fases do ciclo hidrológico são influenciadas por fatores como a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia. Dessa forma, depreende-se que, mudanças no uso e ocupação do solo geram alterações consideráveis no ciclo hidrológico devido a sua forte influência sobre todos os processos que ocorrem dentro do ciclo hidrológico.

Em Brasília, os sinais dos impactos negativos da urbanização são manifestados nas inundações que ocorrem nas tesourinhas, em algumas quadras específicas da Asa Norte, como a 511, 510, e 310, e outros lugares típicos sempre que ocorre um evento chuvoso intenso. Além do prejuízo óbvio resultante das inundações, a qualidade da água do escoamento superficial é seriamente afetada por setores como os de oficinas, pois nas quadras que comportam esses estabelecimentos, frequentemente há derramamento de óleos e outros poluentes. Depois de um evento de chuva, essas substâncias são carreadas para os corpos d'água em níveis de contaminação altos devido à alta taxa impermeabilização e consequentemente, os poluentes não são infiltrados, uma vez que não há a presença de vegetação e ou solo em áreas permeáveis.

Com o crescimento populacional e a densificação, fatores como a poluição doméstica e industrial se agravaram, impactando assim o meio natural e propiciando o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, poluição do ar e sonora, além do aumento de temperatura, contaminação da água subterrânea, entre outros. Esse processo se intensificou principalmente a partir do final da década de 60, fato este que mostra o quanto desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental acarreta em sérios prejuízos para a sociedade (Tucci, 1997).

No que se refere ao escoamento superficial da água precipitada, os impactos consistem no agravamento de cheias, diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, redução das vazões de estiagem dos cursos de água urbanos e periurbanos, e na deterioração da

qualidade da água pluvial (Righetto, 2017). Na Figura 3.1, pode-se notar a diferença entre uma área rural e uma área urbana. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para aumentar o tempo de contato do escoamento superficial com a superfície, favorecendo a infiltração no percurso.

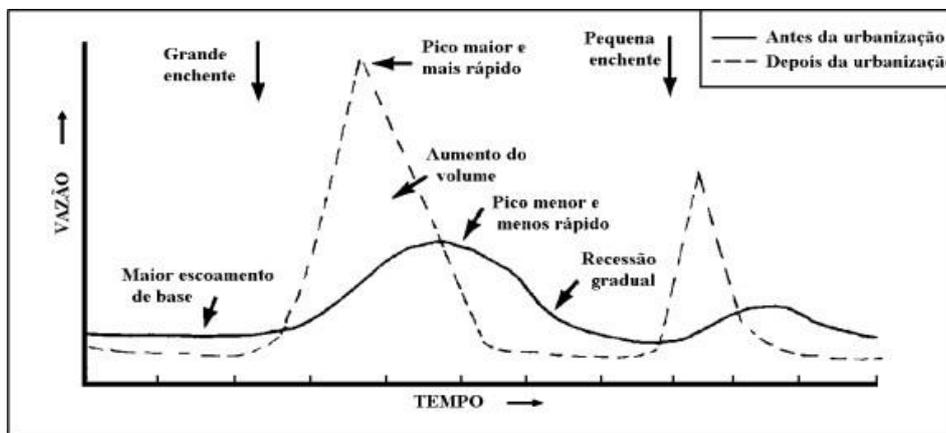


Figura 3.1 - Alterações resultantes da urbanização (Schueler, 1987 apud Tucci, 2005).

Para Tucci (1993), a vegetação também tem influência na redução da energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, o que resulta na atenuação dos processos erosivos. A capacidade de infiltração depende do tipo e do uso do solo, sendo que os que não possuem cobertura vegetal e são compactados, podem, portanto, ter suas capacidades de infiltração diminuídas drasticamente. (Tucci e Mendes, 2006).

Com a expansão territorial, a ausência de uma legislação e uma fiscalização que garantisse o disciplinamento adequado do uso e ocupação do solo, fez com que os problemas de alagamentos e inundações fossem se intensificando e se expandindo ao longo das linhas naturais de escoamento dos deflúvios (Righetto *et al.*, 2009).

Outra hipótese a respeito das consequências dos impactos negativos da urbanização são as mudanças climáticas decorrentes do aumento das ilhas de calor, um fenômeno que ocorre em centros urbanos devido às mudanças de cobertura da superfície e substituição de vegetação por áreas construídas. O aumento da temperatura é resultado de todas essas modificações, e faz com que diversas alterações sejam feitas nos padrões de precipitações, uma vez que o aumento da energia no sistema, em forma de energia térmica, desencadeia uma série de fenômenos físicos, aumentando então os eventos chuvosos.

Inicialmente, as áreas mais afetadas pela urbanização intensa se localizavam próximas aos cursos de água, em locais de ocupação da calha secundária e nos trechos de jusante à

utilização das áreas ribeirinhas. As alterações percebidas nos volumes de água são representadas na Figura 3.2.

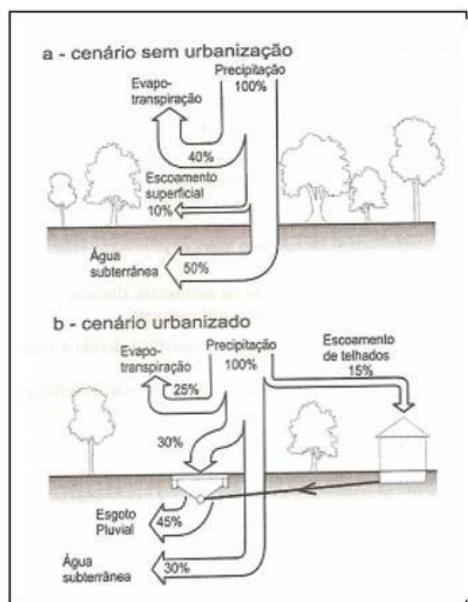


Figura 3.2 - Alterações nos volumes de balanço hídrico natural e urbano (valores indicativos) (TUCCI, 2007).

Nesse contexto, os deflúvios superficiais urbanos influenciam a qualidade dos corpos aquáticos, pois podem carrear diversos tipos de poluentes como sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, bactérias e outros patogênicos, hidrocarbonetos, metais pesados e agentes tóxicos. A superfície do solo, principalmente ruas, sarjetas e telhados, é um dos principais contribuintes de poluentes para o escoamento superficial urbano, conferindo assim um problema de caráter difuso de poluição às águas pluviais urbanas (Righetto *et al.*, 2017).

O controle da poluição difusa é mais complexo, pois ao contrário de fontes pontuais de poluição, o problema não é resolvido com providências locais, de modo que há a necessidade de uma gestão de todos os fatores envolvidos e possíveis geradores de poluição em ação, além da instalação propriamente dita de dispositivos em locais estratégicos, identificados a partir de diversas análises e estudos.

O estudo de Tsuji (2018) trabalhou com a premissa de que quanto maior a degradação de uma área, maior a poluição difusa gerada, focando o monitoramento e modelagem na área considerada mais deteriorada. A partir disso, foi possível identificar os parâmetros mais sensíveis à calibração, mas concluiu-se que há necessidade de um estudo mais aprofundado para que fosse possível atingir resultados mais precisos.

3.2. SISTEMA DE DRENAGEM

3.2.1. Sistema de Drenagem Convencional

Evacuação rápida das águas pluviais, por meio de impermeabilização de áreas e sistemas de condutos artificiais, é a diretriz que norteia a concepção higienista do sistema de drenagem (Souza *et al.*, 2012). Essa abordagem, foi a única na qual se apoiou sistema de drenagem por séculos, tendo por consequência todos os impactos negativos já elencados a respeito do processo de urbanização.

Os sistemas clássicos de drenagem consistem de estruturas impermeabilizadas e tubulações enterradas que visam unicamente fazer o deslocamento do escoamento pluvial para que a área urbana não seja inundada. Além disso, o sistema de drenagem é considerado uma unidade isolada das demais estruturas das cidades, e não como um sistema integrado a outras necessidades do saneamento básico, como o gerenciamento de resíduos sólidos e a coleta de esgoto.

Em consequência de um sistema implementado sem uma visão holística dos elementos que compõem o saneamento básico, surgem problemas estruturais devido à falta de integração entre os diversos elementos do saneamento básico. Além disso, existem problemas funcionais do próprio sistema de manejo de águas pluviais, como a obstruções de canalizações, exemplos dessa situação estão representados nas Figuras 3.3 e 3.4, que mostram manilhas cheias de resíduos sólidos e boca de lobo quase totalmente obstruída.



Figura 3.3 - Manilhas obstruídas por resíduos sólidos (Prefeitura de Laguna, 2018).



Figura 3.4 - Bocas de Lobo sendo desobstruídas no Distrito Federal (Pedro Ventura, 2012).

A estruturação do sistema de drenagem é dividida em dois grupos, o de microdrenagem e macrodrenagem. Na microdrenagem, a função dos dispositivos é transportar as águas superficiais nas ruas, ou captá-las, direcionando-as até o ponto de lançamento ou até o sistema de macrodrenagem, assim, sarjetas e bocas de lobo são destinadas para a execução dessas funções. Já a macrodrenagem é constituída por canais abertos ou condutos enterrados de porte significativo, as chamadas galerias (Baptista *et al.*, 2011).

Alguns complementos também podem ser incorporados, como bueiros, e dissipadores de energia, que geralmente se encontram na saída das galerias, antes do lançamento no corpo d'água, além de estações elevatórias de águas pluviais, as quais a implantação depende da topografia local.

Esses sistemas não possuem nenhum tipo de instalação ou dispositivo com o objetivo de diminuir a poluição nos corpos d'água, que é um fator de grande preocupação já que o escoamento superficial realiza uma espécie de lavagem no solo, carreando assim, todos os componentes físicos e químicos dispostos na área de drenagem (Baptista *et al.*, 2011).

Outros problemas como a necessidade de substituição de condutos antigos por novos, aumento da seção transversal de canais, e os efeitos gerados pela canalização dos cursos, também são consequências da intensa urbanização local que merecem atenção. É possível notar que os problemas relacionados ao processo de urbanização concebido a partir da visão higienista são diversos e preocupantes. De acordo com a literatura de Righetto, um dos principais motivos que configura o sistema convencional como não sustentável é a ausência de resiliência do sistema, pois as estruturas e dispositivos não possuem uma boa capacidade de adequação e adaptação a diferentes cenários e condições. Diante disso, uma grande vantagem das técnicas de LID é se contrapor a esses aspectos, pois além de existirem diversos tipos, se adequam a uma diversidade ampla de cenários.

3.2.2. Sistema de Drenagem Sustentável

Em função de todo dano ambiental e dos diversos eventos de enchentes decorrentes da forma como a drenagem urbana evoluiu, surgiram novos conceitos relacionados ao manejo de águas pluviais no sentido de elaborar alternativas de sistemas mais eficientes e sustentáveis. Nesse arcabouço de ideias da drenagem urbana pós-higienista estão inclusos diversos arranjos, seja para a mitigação de impactos em áreas já estabelecidas, seja para planejamento de novas áreas.

A maior parte das “escolas” da abordagem sustentável de drenagem urbana surgiu nos Estados Unidos como as LIDs e as BMPs. A principal diretriz da “escola” LID é manter ou restabelecer o balanço hidrológico de pré-ocupação por meio de soluções locais/pontuais integradas numa paisagem funcional hidrológica; BMPs (*Best Management Practices*), surgiram com o objetivo de identificar práticas estruturais e não estruturais úteis à área da agricultura nos EUA (Silveira, 2018).

LIDs e BMPs são as mais populares no Brasil, mas existem outras como WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), abordagem de planejamento urbano surgida na Austrália nos anos 1990, cuja ideia básica é a de minimizar os impactos hidrológicos da urbanização no ambiente, no contexto do planejamento urbano na escala de bacia, sendo a drenagem urbana um instrumento setorial focado no controle de cheias, manejo fluvial/pluvial e na qualidade da água, já para o SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) o objetivo é estabelecer uma sequência de práticas e tecnologias para agir juntas buscando soluções mais sustentáveis que as convencionais (Silveira, 2018).

Além de todo o benefício ambiental propiciado pelas práticas de drenagem sustentável, no que diz respeito ao âmbito econômico essa visão alternativa de sistemas de drenagem também pode ser uma melhor opção em vista do tradicional. Segundo Tucci (2016), o controle por trechos isolados com canalização, além de apenas deslocar a água para outros locais, muitas vezes possui custos insustentáveis para os municípios.

De acordo com Baptista *et al.* (2011), as técnicas compensatórias diferenciam-se do uso das redes de drenagem pela necessidade absoluta de se tratar da questão das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto de ordenamento urbano. Esta é a razão pela qual uma abordagem integrada é necessária.

A essência das técnicas compensatórias é a retenção e a infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo temporal das vazões e, eventualmente, a diminuição do volume escoado,

reduzindo assim as probabilidades de inundação e mitigando a poluição da água escoada (Baptista *et al.*, 2011).

3.2.2.1. Low Impact Development (LID)

Como já foi exposto, o objetivo das práticas de LID é a aproximação do regime de pré-desenvolvimento, com projetos adaptados a topografia natural e possibilitando o controle do escoamento das águas pluviais. Para tanto, é necessário que se preserve as condições relacionadas aos processos de evaporação, infiltração, armazenamento e retenção do escoamento (Barbassa, 2012).

A proposta das técnicas de LID, assim como algumas técnicas de BMP, busca atuar individualmente em pequenas áreas e em menores escalas, de forma a controlar o escoamento das águas pluviais em sua origem. Além disso, as LIDs incluem Práticas de Gerenciamento Integradas IMPs e medidas não estruturais, dispositivos hidráulicos que aumentam o tempo de concentração das águas e programas de educação. Em outras palavras, as LIDs buscam realizar o controle da drenagem de maneira mais preventiva, mais próximo da origem do problema e da fonte de alteração dos processos hidrológicos naturais (Lucas, 2011).

As características de medidas de LID como a alta capacidade de adequação a diferentes cenários favorecem a ideia de que, apesar de originalmente internacionais, as vertentes dos sistemas de drenagem urbana sustentáveis podem ser muito bem adaptadas à realidade do Brasil. Considerando ainda o alto custo das medidas de controle de drenagem quando a ocupação já está em fase avançada, deve-se buscar alternativas adequadas e viáveis dentro da realidade socioeconômica da região (Tucci, 2005).

As medidas e métodos utilizados na abordagem LIDs são diversos, como por exemplo as técnicas compensatórias, que são interferências diretas nos locais de interesse. De acordo com a literatura de Ballard (2015) e Baptista (2011), existe uma vasta lista dessas técnicas as quais são separadas em diversas classes de acordo com seus respectivos critérios.

Os telhados verdes, por exemplo, consistem em camadas vegetadas instaladas em telhados a fim de armazenar água da chuva e promover a sua absorção por meio dos vegetais; já as chamadas células de biorretenção, também conhecidas como jardins de chuva, consistem em depressões rasas que compõem o paisagismo local e que têm por função captar o escoamento superficial e armazenar temporariamente para que seja filtrado e penetre no solo.

Os pavimentos permeáveis são estruturas de pavimentos que permitem que a água as percole. Esse tipo de estrutura pode ser feito utilizando-se de vãos entre blocos de concreto ou por meio de uma estrutura porosa que se encontra na composição do próprio pavimento; há também a possibilidade de que se armazene a água em uma sub-base e posteriormente seja conduzida para infiltrar no solo.

As bacias de retenção são uma espécie de reservatório que contam com um dispositivo de saída, geralmente um orifício, que controla o fluxo de água, promovendo a sua acumulação de acordo com a área disponível, o objetivo desse tipo de bacia é retardar e amortizar o pico de vazão do escoamento superficial, evitando assim a ocorrência de alagamentos. Se a bacia for vegetada, há ainda a possibilidade de a água ser filtrada pela vegetação e infiltrar pela base da bacia.

As trincheiras de infiltração podem ser definidas como uma depressão feita no solo que se comporta como um dreno, são preenchidas com material granular graúdo, geralmente pedra de mão, seixos ou brita e são dispostas em fileiras no solo. Além de realizar uma filtração por meio desse material granular que a preenche, a água e percola toda sua profundidade até chegar a sua base e infiltrar no solo.

Uma das possibilidades de classificação dessas técnicas se dá pela divisão em grupos de infiltração e retenção, com a possibilidade de combinação entre as duas tipologias (Ferreira, 2017), algumas práticas de LID estão representadas na Figura 3.5.

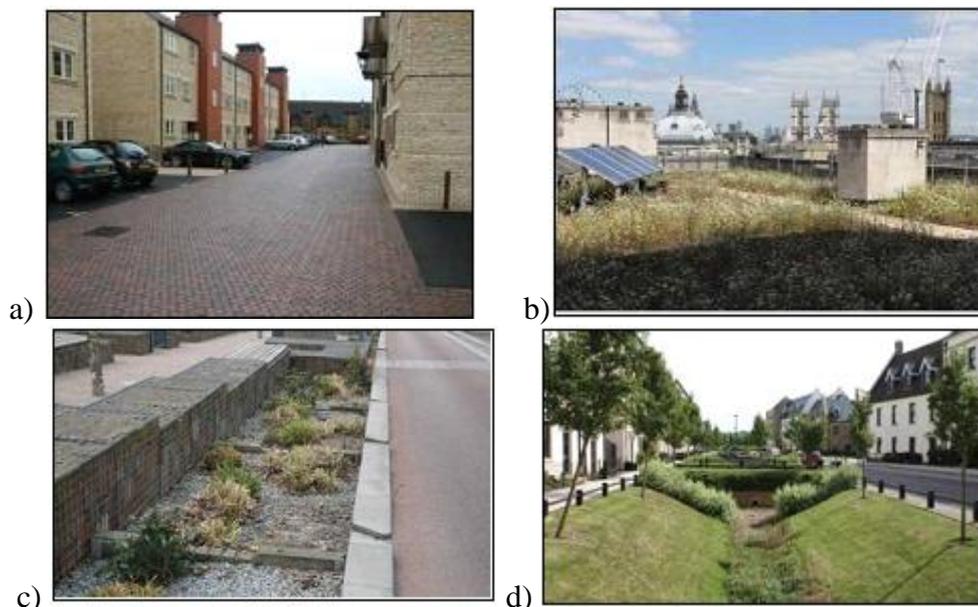


Figura 3.5 - técnicas de LID em (a) pavimento permeável; (b) telhado verde; (c) vala de infiltração; e (d) jardim de chuva (Ballard et.al., 2015).

Além dessa classificação mais geral a respeito das técnicas compensatórias, existem classificações mais específicas, que utilizam o critério do detalhamento de seus funcionamentos para separá-las em grupos. De acordo com Ballard *et al.* (2015), há o grupo de captação da água da chuva, que faz o recolhimento da água da chuva e que é facilmente incorporado localmente, como por exemplo dentro de construções.

Já no grupo que representa os sistemas de superfícies permeáveis, encaixam-se os dispositivos que desempenham as funções de promover a infiltração de parte do escoamento superficial, reduzindo o volume de água que é lançado no sistema de drenagem implantado e que podem ter algum mecanismo de armazenamento e tratamento, como por exemplo telhado verde e pavimento permeável.

Outra classificação também possível para Ballard é a que remete à classificação mais ampla, o grupo de sistemas de infiltração, que facilita a infiltração da água no solo e frequentemente armazenam a água temporariamente para liberá-la paulatinamente no solo. Há também o grupo de transporte, conduzindo a água para sistemas de armazenamento e, quando possível, promovem o controle e tratamento do fluxo e do volume.

No que diz respeito ao grupo de armazenamento, incluem-se os dispositivos que controlam o fluxo e o volume do escoamento, fazendo a descarga de forma controlada, aqui incluem-se os eservatórios, bacias e *wetlands*. Por fim, tem-se o grupo de tratamento, que abrange os dispositivos que realizam a remoção ou facilitam a degradação de contaminantes presentes no escoamento.

Há ainda outro ramo de classificação possível, que é feito com base na forma de implantação dos dispositivos, aqui distingui-se as técnicas para controle na fonte, implantadas junto a pequenas parcelas de área exatamente onde o escoamento está sendo gerado, e as técnicas lineares, implantadas geralmente junto aos sistemas viários, pátios, estacionamentos.

Poços de infiltração, micro-reservatórios domiciliares e telhados armazenadores são exemplos de técnicas para controle na fonte, pavimentos porosos e trincheiras são exemplos do segundo tipo citado. Valas de detenção e/ou infiltração se encaixam nos dois tipos. (Baptista; Nascimento e Barraud, 2011).

Para Baptista *et al.* (2011), tem-se ainda a divisão entre técnicas compensatórias não-estruturais e estruturais. No que diz respeito às não estruturais, temos o instrumento de legislação, racionalização do uso do solo urbano, educação ambiental e tratamento de fundo de vale, já as técnicas estruturais abarcam as bacias, obras lineares e obras pontuais.

Em bacias, tem-se as bacias de detenção, retenção, infiltração e a combinação detenção/retenção e detenção/retenção/infiltração. No grupo de Obras lineares, encontram-

se as trincheiras, valas, valetas e pavimentos e no grupo de obras pontuais, tem-se poços de infiltração, telhados e técnicas adaptadas à parcela.

3.2.2.2. Vala de Infiltração

As valas de infiltração possuem capacidade tanto de reduzir o escoamento superficial de uma área quanto de diminuir a poluição difusa que chega aos corpos d'água. Estudos sobre a eficiência das valas de infiltração mostram a importância dessa solução pois verificam que, a depender das circunstâncias, o escoamento pode ser até mesmo totalmente liquidado através do fluxo nesses dispositivos de infiltração (Davis, 2005). Na Figura 3.6 tem-se a representação esquemática de estrutura de uma vala de infiltração.

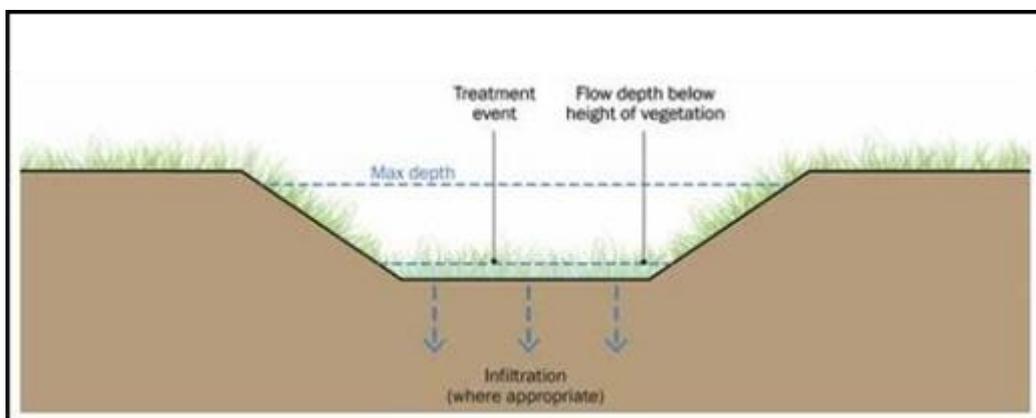


Figura 3.6 - Representação da estrutura de uma vala de infiltração. (Ballard et al.,2015).

Além dos problemas relacionados aos fatores quantitativos, há também a questão da grande diversidade de poluentes que podem ser encontrados nas águas pluviais, sedimentos, nutrientes, metais pesados e patógenos são algumas possibilidades. Esses poluentes são acumulados em superfícies impermeáveis e no período de chuva são levados pelo escoamento superficial para os corpos d'água (Chen, 2006).

A propriedade de remoção de poluentes em valas se dá em função de alguns mecanismos que ocorrem na estrutura. A filtração em si é um dos mecanismos associado à sedimentação de partículas e à infiltração na zona subterrânea. A velocidade de pico é reduzida pelo obstáculo que a vegetação exerce sobre a água à medida que acontece o escoamento dentro da vala (Yu *et al.*, 2001).

Outro elemento o qual é de extrema importância, é o fato de que a eficiência no uso de valas depende diretamente de suas características físicas como comprimento, largura, declividade, pois cada um desses fatores influencia no tempo de detenção e, portanto, na eficiência do

processo.

O bom desempenho da vala de infiltração também depende do tipo de vegetação e da declividade da superfície do terreno no qual é instalada, pois essas características determinam a velocidade do escoamento (Shueler, 1987). Diversos estudos e obras de literatura que versam sobre o uso dessa estrutura de infiltração, concluem que valas com dimensões de comprimento extensas e declives graduais são mais eficientes na remoção de poluentes, pois ao aumentar o tempo de detenção e a área de contato, o processo de infiltração é otimizado (Yu *et al.*, 2001).

O tipo de solo também pode impor restrições à inclinação dos taludes da vala, devendo ser mantido em geral uma largura entre 4 e 10 vezes a sua profundidade, pois quanto mais aberta a seção, maior a área de contato e, portanto, maior a infiltração total (Baptista *et al.*, 2011). Outras questões levantadas por Lucas (2011) que devem ser levadas em conta quanto a condicionantes para o bom funcionamento das valas de infiltração são mostradas na Tabela 3.1, tratam-se de elementos que além de influenciarem no funcionamento dos processos, interferem também na vida útil do dispositivo.

Tabela 3.1 - Aspectos limitantes para a implantação de estruturas de infiltração

Aspectos Limitantes com relação à implantação de estruturas de infiltração
1 - O solo deve possuir permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} m/s pois em solos com permeabilidade superior ao intervalo há risco de contaminação do lençol freático.
2 - Nível do lençol freático situa-se a 1,00m de distância do fundo da estrutura para que não ocorra contaminação.
3 - A área de implantação não é uma zona de infiltração regulamentada como área de captação de água potável.
4 - As águas escoadas não têm origem de fontes potencialmente poluidoras, como postos de combustível, armazenamento de produtos químicos, etc.
5 - Local de implantação não tem áreas a montante com excessivo movimento de terra nem as águas escoadas carregam materiais finos em excesso, de maneira a evitar a colmatação precoce da estrutura.
6 - Declividade local inferior a 5% embora não haja impedimento para algumas áreas.

De acordo com Coffman (2001), a falta de dados científicos tem sido um obstáculo à implementação em larga escala das LIDs, essa questão faz com que as tentativas de implementação de LIDs sejam sempre restritas a áreas que correspondem a um percentual

baixíssimo da área em que se pretende solucionar problemas de alagamentos, assim as intervenções não são suficientes e resultam em uma grande descridibilidade à eficiência dessas técnicas.

Porém, há uma série de artigos que apontam para a constatação contrária, comprovando a eficiência dessas estruturas de infiltração em diversos cenários, alguns com sistemas conjugados, quando a vala atua junto a outra estrutura, e outros que contam apenas com as valas.

O estudo feito por Lucas (2011), analisou a implantação de um sistema filtro-vala-trincheira (FVT) com o objetivo de reter o escoamento superficial de um edifício, a precipitação média anual do local é de 1.423 mm, com maior frequência de precipitação entre outubro e março. Como resultado, observou-se a retenção do escoamento no sistema de infiltração de todos os eventos de chuva monitorados, sem registro de extravasamento, e a não influência do tempo de retorno sobre os níveis de armazenamento das estruturas de infiltração. A maior altura precipitada foi de 91.7 mm, intensidade de 0,4mm/min e Tempo de Retorno (TR) = 25 anos.

Em Bai (2018), a proposta de implantação da vala de infiltração foi em um sistema conjugado com pavimento permeável. O local estudado situa-se na cidade de Suqian, na China, onde a precipitação média anual é de 1.188 mm, com maior concentração de eventos chuvosos de maio a setembro. A topografia do local é semelhante ao formato de uma escada, com baixas altitudes no sul e altas no norte, com uma área em que 25% é permeável e 75% impermeável.

A área correspondente à vala de infiltração foi de 800 m², o que representa 4% da área total, já a área correspondente ao pavimento permeável se deu em torno de 12,35% do total. Os tempos de retorno analisados foram de 0,33, 1, 3, 5 e 10 anos. Os principais resultados estão representados na Figura 3.7.

Duração da Chuva	Tempo de Retorno	LID de Armazenamento	LID de Infiltração	Em Conjunto
120 min	1a	1.46%	29.76%	31.80%
	3a	1.33%	29.41%	31.24%
	5a	1.28%	29.35%	31.15%
180 min	1a	1.45%	29.75%	31.77%
	3a	1.29%	29.46%	31.27%
	5a	1.26%	29.38%	31.16%

Figura 3.7- Resultados obtidos na redução do volume de escoamento para tempos de retorno distintos (Bai, 2018).

O caso de estudo de Hood *et al.* (2007) situou-se nos Estados Unidos em um bairro de Oregon, Jordan Cove, a precipitação média anual nesse cenário é de 1265 mm e ocorre de forma distribuída e com irregularidade sazonal. Os eventos chuvosos selecionados para análise em questão tiveram um mínimo de precipitação de 1,27 mm. Foram utilizadas 104 chuvas em um intervalo de tempo de, aproximadamente, dois anos, de 2002 a 2004.

Verificou-se que o sistema vala e pavimento permeável contribuiu para a redução do volume de escoamento, comprovando, portanto, outra tese sobre a utilidade de valas de infiltração, a redução dos volumes de escoamento. Os melhores desempenhos foram verificados em eventos de chuva mais curtos e menos intensos, como foi afirmado por vários autores já citados. A diminuição na lâmina de escoamento e no pico de descarga, no entanto, foram atestados para todos os tipos de tempestades analisadas, o que amplia as possibilidades de eficiência de valas.

Rezaei *et al.* (2019) realizou um estudo referente à sub-bacia do rio Bunus, localizada na cidade de Kuala Lumpur, Malásia, com 18 km². A proposta é a de implantação de valas e jardins de chuva com o objetivo de diminuir a poluição difusa e o pico de escoamento. Foram empregados dispositivos de LID com 40% da área referente a vala de infiltração e 30% a jardim de chuva. Foram utilizados nove eventos chuvosos, obtidos por meio de curva IDF já desenvolvida para a área de estudo, feita com uma base de dados de cem anos.

Três tempos de retorno foram analisados, 5, 10 e 20 anos com durações de chuva iguais a 1h, 1h30 e 2h. A remoção de poluentes foi estudada com base na quantidade de sólidos em suspensão totais e nitrogênio. A redução do pico de escoamento foi de 27% para chuvas de até 70 mm e 19% para chuvas de 70 mm a 90 mm, para os eventos mais longos e tempestades acima de 90 mm os resultados não foram satisfatórios, reafirmando a hipótese de que o desempenho satisfatório desses tipos de LIDs se dá em chuvas não tão longas e de intensidades não tão altas. Já a eficiência de remoção de poluentes foi de 40% e 62%, para nitrogênio e sólidos em suspensão totais, respectivamente, em todos os cenários de precipitação testados.

Por fim, tem-se o estudo feito por Carvalho (2018) que consiste em uma análise de propostas de implantação de valas de infiltração em uma região do Distrito Federal que é uma área de recarga de aquíferos, Taquari-DF, por isso o maior interesse no emprego dessa técnica de LID nessa região é exatamente a capacidade de infiltração desse dispositivo.

Foram realizadas análises comparativas entre cenários de pré-desenvolvimento, com as técnicas LID implantadas e com o projeto estabelecido para a região. A maior precipitação anual no período estudado, de 2013 a 2018, foi em 2013-2014 com 1.580 mm e a menor em

2015-2016 de 764,8 mm.

Apesar dos resultados de infiltração referentes ao cenário que continha a vala terem sido menores que no cenário de pré-desenvolvimento, foi verificado que a infiltração com o emprego da solução de baixo impacto chega a ser 64% maior quando comparada ao cenário com a rede projetada. As valas promoveram também uma diminuição de até 85% do volume de águas pluviais que chega até o lançamento final da área, reduzindo no mínimo 93% do valor da vazão de pico (Carvalho, 2018).

Toda essa extensa revisão bibliográfica mostra o quanto o uso de valas de infiltração pode ser eficiente, basta que se analisem as condições locais, os benefícios e dificultadores para um bom desempenho dessa solução na situação em questão, seja a proposta de implantação de vala em sistema conjugado ou como única solução.

3.3. GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO DISTRITO FEDERAL

Os sistemas de drenagem urbana no Brasil ainda seguem um padrão baseado apenas em escoamento das águas superficiais geradas, apesar de já haver um reconhecimento de que este tipo de abordagem apenas transfere para jusante os problemas pois age sobre os efeitos locais. O avanço acadêmico no desenvolvimento de técnicas e abordagens mais integradoras, com foco na bacia hidrográfica e nos impactos da urbanização sobre os processos naturais, ainda não avançou fortemente na prática dos técnicos municipais e tomadores de decisão (Souza, 2013).

O Distrito Federal possui um órgão responsável pelo controle de lançamentos em corpos d'água ou na rede de drenagem pública, a ADASA. Por isso, o DF tem boas condições para estabelecimento das condições para melhorar o manejo das águas pluviais, ainda que nas cidades já estabelecidas o sistema de drenagem, quando existente, não seja projetado de forma sustentável e integrada.

No que diz respeito ao arcabouço nacional de legislação e instrumentos da política urbana em relação à drenagem urbana, tem-se diversos elementos normativos como a Lei n° 12651/2012 que dispõe sobre proteção da vegetação nativa, determina que em zonas rurais ou urbanas a vegetação em Área de Preservação Permanente (APP) é protegida.

Destaca-se que a Lei indica que os municípios, por meio de seus planos municipais, devem definir regras específicas de restrição, respeitando-se os limites da Lei n° 12651/2012, isso faz com que uma grande parcela de terreno tenha a cobertura vegetal preservada.

A Lei nº 6766/1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, define restrições ao parcelamento do solo em margens de cursos d'água e encostas. Além das leis, há também resoluções relacionadas ao assunto, como a Resolução CONAMA nº 369/2006, que condiciona a intervenção em APP (no caso de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental) à observância de alguns aspectos de impactos.

Dispõe-se também da Lei nº 11.445/2007, que define o escopo do saneamento básico, com diretrizes e princípios que devem nortear as políticas públicas em saneamento. Além disso, os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano (PDDU), códigos de obras e códigos de posturas trazem regras de ocupação do espaço urbano, com definição das áreas de estímulo ou de restrição à ocupação.

Já os planos municipais de saneamento básico podem promover uma grande mudança de estruturação, em todas as áreas, mas com relação à drenagem e manejo de águas pluviais são numerosas as mudanças possíveis. No entanto, ainda possuem pouca efetividade a nível nacional, são poucas as cidades que possuem um plano municipal de saneamento básico. No Distrito Federal, dispõe-se do PDDU-DF, que foi consolidado em 2009 a fim de ser um instrumento de planejamento que trate da drenagem e manejo de águas pluviais. Segundo o plano, a fim de controlar os impactos identificados e desenvolver novos padrões sustentáveis para a drenagem urbana, alguns princípios foram definidos como norteadores, explicitados abaixo.

- A integração com os outros planos existentes como o Plano Diretor Urbano, de Infraestrutura, Saneamento Ambiental e Meio Ambiente é um dos princípios firmados, afinal a estruturação de diretrizes que versam sobre infraestrutura tem de ser coesa e coerente entre si.
- O escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, dessa forma a cheia natural não deve ser ampliada. Quando há acréscimo, a vazão deve ser amortecida a jusante, o projeto deve ser custeado pelo empreendimento responsável pelo aumento de vazão.
- O controle de drenagem deve contemplar todas as bacias nas quais há urbanização, os impactos não devem ser transferidos para outra área, resolvendo o problema apenas localmente. Caso algum impacto seja transferido para jusante, deve-se prever uma medida completa de retorno à vazão de pico atualmente existente.
- O Plano deve prever a minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial através da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, controle

do material sólido e a redução da carga poluente nas águas pluviais.

Em sua regulamentação o plano deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas. No que diz respeito a competências, está definido que os meios de implantação de controle de enchentes são o PDDU, as Legislações e o Manual de Drenagem. O primeiro estabelece as linhas principais, as legislações controlam e o Manual orienta. O PDDU estabelece como princípios norteadores para a drenagem urbana no DF alguns fatores como:

- A educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais também é colocada em pauta como um elemento importante para que as decisões públicas sejam tomadas de forma consciente.
- A transferência do custo da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbanos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável
- O gerenciamento eficiente na manutenção de drenagem e na fiscalização da regulamentação é essencial.

Além do PDDU, o manual de drenagem urbana de autoria da Adasa também é um instrumento da gestão de drenagem, porém com a função de orientar como já foi esclarecido acima. De acordo com a Agência reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF, o objetivo do manual é apresentar critérios para estudos de concepção e projetos de sistemas de drenagem no Distrito Federal.

O Manual indica diretrizes tanto para a ampliação do sistema de drenagem, em consonância com a expansão urbana, como para a adequação do sistema de drenagem existente em áreas já urbanizadas e sujeitas a alagamentos e inundações

Além da abordagem técnica de engenharia do manual, diversos outros fatores também foram incluídos, como o sistema institucional de gestão, ações estruturais e não estruturais para redução dos riscos de alagamentos e inundações, controle da poluição hídrica, planejamento urbano, impactos ambientais, gestão de resíduos sólidos, controle de erosão e assoreamento, recomendações construtivas para medidas de controle na fonte e diretrizes para manutenção. Considerando-se que o manual possui caráter normativo, todos os parâmetros e conceitos definidos devem ser respeitados em todos os projetos de drenagem e manejo de águas pluviais do Distrito Federal elaborados a partir de sua edição.

Para o lançamento em corpos d'água ou na rede de drenagem urbana, é necessária a obtenção de outorga, além do fato que há um limite máximo de 24,4 l/s/ha. Outra condicionante necessária para outorga é a construção de estrutura de retenção a fim de que os sedimentos

e poluentes existentes se depositem, reduzindo assim a carga de poluentes a jusante e evitando o assoreamento de corpos hídricos. Todas essas exigências estão definidas na Resolução nº 09/2011 da Adasa, a responsável por regulamentar os pedidos de outorga de drenagem.

3.4. MODELAGEM HIDRÁULICA-HIDROLÓGICA

O projeto e a construção de uma cidade que segue os padrões de drenagem sustentável raramente acontecem simultaneamente, além disso o ajuste das disposições após o projeto já ter sido implantado é algo oneroso, dessa forma torna-se uma tendência inevitável que os modelos de software sejam usados para simular o efeito das instalações que proporcionam um sistema sustentável de drenagem para uma cidade (Xie *et al.*, 2017).

A maior parte dos modelos também inclui o armazenamento de bancos de dados extensos gerados nos gerenciamentos, com dados de entrada e saída, o que viabiliza a construção de gráficos e estatísticas (Debo e Reese, 2003).

De acordo com Debo e Reese (2003), além de simulações hidrológicas e hidráulicas, os modelos possuem outras utilidades como testes quantitativos de medidas e controles previamente às suas implementações, levando em conta que se tratam de processos caros. Se um modelo foi calibrado e validado em pelo menos um local, pode ser usado para simular condições não monitoradas e, dessa forma, extrapolar os resultados para locais semelhantes. Modelos hidrológicos capazes de representar matematicamente os diversos processos físicos como a transformação de chuva em escoamento, a evapotranspiração, o armazenamento de água no solo e nos aquíferos, e a propagação de ondas de cheias ao longo da rede de drenagem são ferramentas úteis em diversos tipos de análises hidrológicas (Pontes *et al.*, 2015).

Segundo Tucci (1998) os modelos devem ser classificados em concentrado ou distribuído. Os modelos concentrados são os que não levam em conta a variabilidade espacial da bacia, por outro lado, nos modelos distribuídos as variáveis e os parâmetros dependem do espaço e/ou do tempo.

Enquanto os modelos hidrológicos visam fundamentalmente a obtenção do hidrograma de cheia na saída do exutório de uma bacia, os modelos hidráulicos-hidrológicos buscam a compreensão dos processos hidráulicos e hidrológicos que ocorrem no interior da bacia, possibilitando a quantificação de variáveis de importância para a análise e a tomada de decisão. (Santos, 2009).

Após a parte hidrológica ser simulada, é possível tomar conhecimento da vazão que será gerada e, assim, a parte hidráulica dá continuidade ao processo de simulação no intuito de prever a propagação dessa vazão em canais. A possibilidade de extravasamento e alagamento é verificada, além da possibilidade de identificação de possíveis processos de erosão.

3.4.1. SWMM

O SWMM é o pacote computacional mais utilizado atualmente para simulação da drenagem urbana, principalmente por ser de domínio público e ter seu código de programação aberto (Righetto, 2009). Em sua operação são considerados os princípios da conservação de massa, energia e momento e simula os fenômenos hidrológicos-hidráulicos que permite simular ventos isolados ou contínuos. A representação de como é o funcionamento de um reservatório para o modelo é apresentado na Figura 3.8.

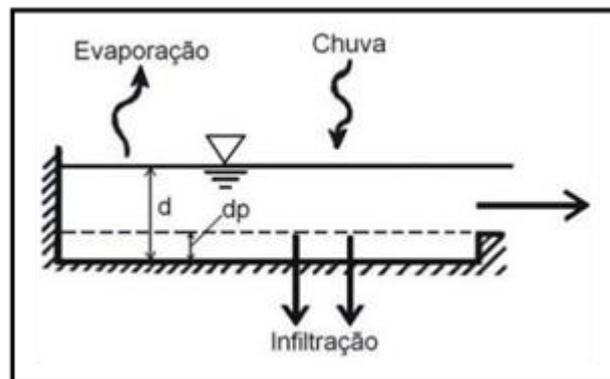


Figura 3.8 - Representação conceitual de reservatório pelo SWMM (Garcia, 2005).

O programa é utilizado mundialmente para planejamento, análise e projetos relacionados aos componentes do sistema de drenagem, mapeamento de canais naturais, identificação de poluição difusa, avaliação de LIDs, a fim de atingir metas de desenvolvimento sustentável (Zahmatkesh *et al.*, 2015).

O Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais da EPA (SWMM) é um modelo simulação de chuva-vazão dinâmico usado para simulação de um evento ou um período contínuo da quantidade e qualidade da chuva, usado principalmente em áreas urbanas. O componente de precipitação opera analisando todo o escoamento superficial gerado em um conjunto sub-bacias, com toda a carga de poluente presente. (EPA, 2015)

O SWMM permite a modelagem de técnicas compensatórias como trincheiras de infiltração, valas de infiltração e filtros gramados, envolvendo o armazenamento e/ou escoamento subterrâneo. O modelo permite determinar a vazão de infiltração a partir das equações de

Horton, Green-Ampt e pelo método do *Soil Conservation Service* (SCS). Vários trabalhos atestam a eficiência e utilidade do programa, como (Ferreira, 2017), Xie *et al.* (2017), Hall e Clar (2007), Carvalho (2018), Tsuji (2018). Essa eficiência se relaciona à utilidade do modelo no gerenciamento de drenagem urbana como nas simulações envolvendo dispositivos de LID, pois vários desses trabalhos utilizaram as técnicas em suas análises. No trabalho de Carvalho (2018) o SWMM foi utilizado para simular o efeito que a implantação de valas de infiltração teriam se incluídas no planejamento urbanístico de uma nova região do Distrito Federal chamada Taquari. Foram simulados diversos cenários e comparados à simulação que representava a região com seu atual planejamento, o qual não contava com nenhuma proposta de implantação de valas de infiltração. Trata-se de um trabalho com algumas semelhanças com relação a este, pois além de também se tratar de uma região do DF, os dispositivos LID escolhidos foram as valas de infiltração.

3.4.1.1. PCSWMM 2D

O PCSWMM opera dentro do ambiente do SWMM oferecendo um rico conjunto de ferramentas que além de aprimorar também estende o ambiente de modelagem do SWMM, ampliando assim as possibilidades de produção por meio de seu uso. Trata-se de um sistema de suporte projetado para funcionar com qualquer versão do SWMM, o que o previne da obsolescência em função das atualizações do ambiente de modelagem.

O método de propagação de escoamento referente à rede de drenagem é o modelo de onda dinâmica o qual utiliza as equações de *Saint-Venant*, que aplicam a equação da continuidade e da quantidade de movimento, princípios já citados na estruturação do SWMM.

Assim, é possível considerar os efeitos de ressalto hidráulico perdas de carga nas entradas e saídas de dispositivos, efeitos de remanso e escoamento sob pressão. Segundo Rossman (2015), trata-se de um método adequado para os sistemas em que há efeitos de ressalto hidráulico decorrente das restrições do escoamento para jusante e pela presença de elementos de controle, como orifícios e vertedores.

O PCSWMM conta ainda com uma extensão 2D que permite simular o comportamento do escoamento superficial. O modelo 1D é conectado ao 2D, viabilizando assim a análise tanto da água que o sistema de drenagem é capaz de fazer o manejo quanto da porção que não é absorvida pelo sistema.

A representação do 2D no PCSWMM é feita por meio de uma malha hexagonal ou retangular

que abrange toda a área de estudo, as células dessa malha são compostas por nós 2D. Os nós adjacentes se relacionam por meio de canais retangulares ou por condutos 2D e as células possuem condutos conectados à superfície das outras células a fim de preservar a continuidade. (Bagheri *et al.*, 2020)

Dessa forma, essa extensão do PCSWMM foi de grande utilidade a este estudo, visto que se trata da proposição de soluções para mitigar os alagamentos que ocorrem em edificações do campus da UnB e, para isso, é necessário que se estude o comportamento da água excedente à capacidade do sistema de drenagem.

3.5. HISTÓRICO DAS INUNDAÇÕES NA UNB

A Asa Norte está entre as regiões já consolidadas do Distrito Federal que mais apresentam problemas com relação a inundações. Os possíveis motivos do problema incluem a falta de manutenção da rede de drenagem implantada, a baixa utilização das áreas verdes como áreas para armazenamento e infiltração de águas pluviais e subdimensionamento do sistema de drenagem em função dos critérios de projeto vigentes à época da construção.

Hipóteses de que a impermeabilização do setor noroeste era uma das principais causas dos alagamentos na asa norte foram levantadas, porém segundo Camara (2016) a maior contribuição do noroeste consiste em sedimentos que são carreados e não no volume de água que excede a capacidade do sistema de drenagem.

Alves e Lima (2016) avaliaram o desempenho das soluções de baixo impacto que foram implantadas no Noroeste, por meio de simulações utilizando o SWMM, para diferentes cenários durante o processo de urbanização do setor, chegando ao resultado de que as medidas eram eficientes na redução da vazão de pico e aumento do tempo de pico.

No entanto, diversas obras viárias, construções de estacionamentos de grandes dimensões e a progressiva ocupação da Asa Norte certamente têm agravado o problema.

Em 2009, o Instituto Central de Ciências (ICC) da Universidade de Brasília (UnB) foi atingido por uma grande enxurrada que provocou alagamento e grandes prejuízos.

Em 2011 novos alagamentos, de menor monta, voltaram a ocorrer na Universidade, afetando diversos pontos, inclusive a ala norte do ICC e a Faculdade de Tecnologia.

Em abril de 2019, os alagamentos voltaram a ocorrer, algumas imagens relacionadas às ocorrências são mostradas na Figura 4.2. O subsolo da ala norte do ICC foi uma das áreas mais prejudicadas.



Figura 3.9- Fotos das inundações na UnB: (a), (b), (c) e (d) são de 2019; e (e) de 2009.

As hipóteses a respeito da piora nos eventos de inundações e o alagamento de novos pontos apontam para consequência de implantação de estruturas no campus da Universidade, como por exemplo os componentes do sistema viário, que podem criar caminhos preferenciais ao percurso da água devido a diferentes inclinações executadas. Além disso, os impactos da constante impermeabilização das áreas urbanas crescem gradualmente, agravando assim os eventos de inundação.

Ao longo deste trabalho, detectaram-se falhas no cadastro da Adasa e Novacap sobre a rede de drenagem no Campus Darcy Ribeiro.

4. METODOLOGIA

A fim de alcançar os objetivos traçados para este trabalho, a metodologia utilizada foi dividida em quatro etapas principais, a primeira consiste na caracterização da área de estudo e elaboração dos mapas necessários ao estudo; a segunda etapa abrange a análise do sistema de drenagem atual da região e propostas de solução de baixo impacto e definição dos cenários; a terceira etapa cobre os últimos ajustes necessários ao modelo e a execução das simulações, a análise dos resultados; comparações entre os cenários correspondem a quarta e última etapa. Esse roteiro básico de metodologia encontra-se descrito no fluxograma da Figura 4.1.

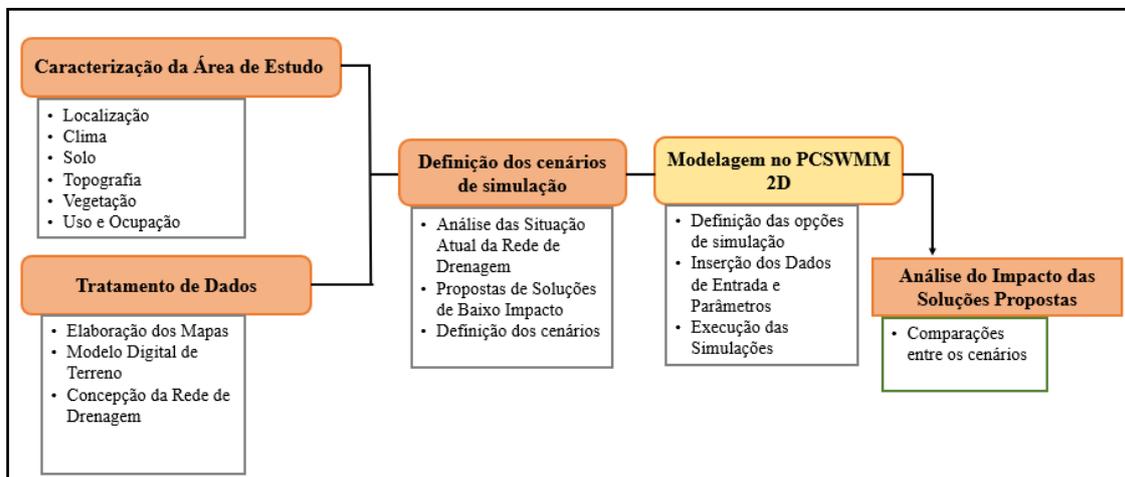


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia adotada.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Localização

A área de estudo consiste em uma pequena área da Asa Norte, entre a via L3 Norte, em frente à Faculdade de Tecnologia, e a ala norte do Instituto de Ciências Central de Ciências da Universidade de Brasília. A UnB está inserida em uma sub-bacia de drenagem denominada como C.O, que tem 5,43 km² (Costa, 2013). Essa sub-bacia pertence à Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, que é de grande importância para a Hidrografia do DF pois sua área

mapa

corresponde a, aproximadamente, 18% de todo o território (Ferrante *et al.* 2001).
O de localização da área de estudo está representado na Figura 4..

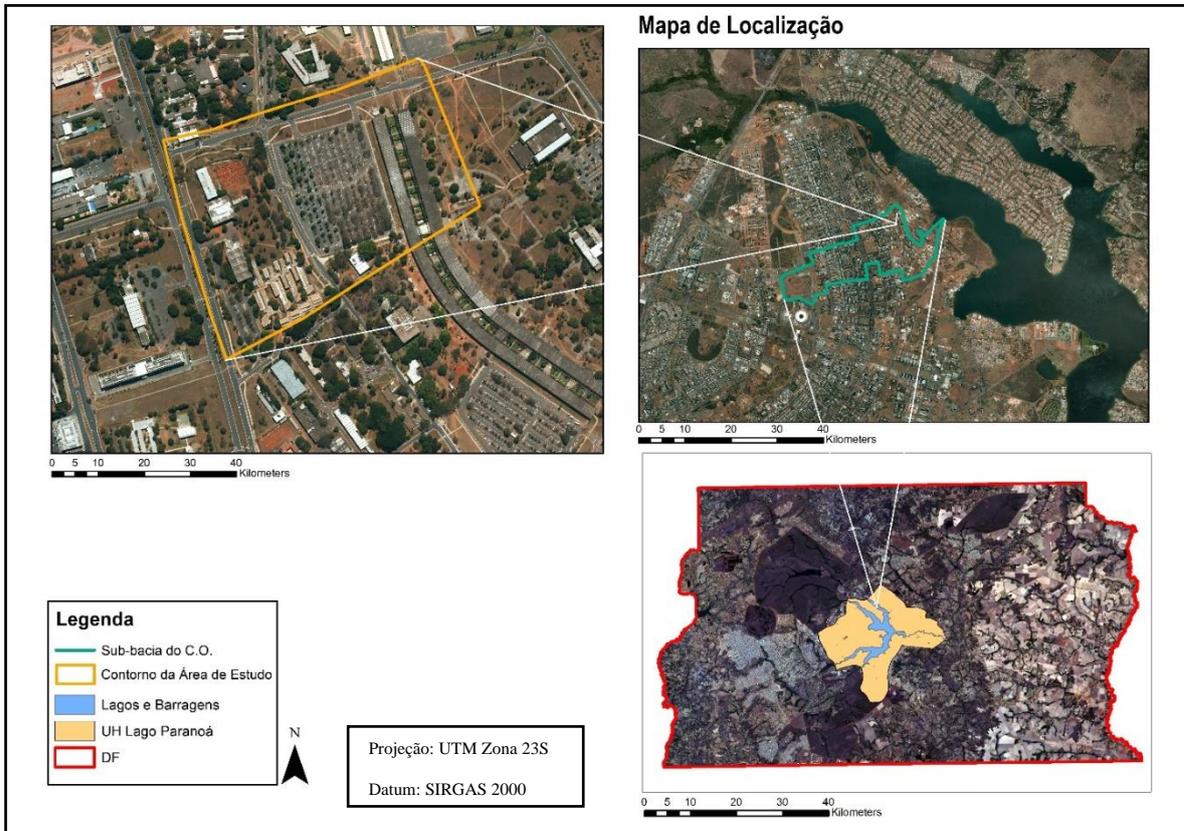


Figura 4.2- Mapa de localização da área de estudo.

As regiões da FT e ICC norte são mostradas na Figura 4.3, o contorno em vermelho, mostra os locais analisados para a instalação das soluções propostas para reduzir os alagamentos.



Figura 4.3- Região da FT e ICC Norte com Indicações dos Locais para Implementação de LIDs (Ricardo Jayme, 2020).

4.1.2. Clima e Solo

Característica típica do clima de Brasília é a estação seca e chuvosa bem definidas, em que no período seco os índices de umidade chegam a 12% nos dias mais críticos, O período de maior concentração de chuvas, cerca de 84% de todo volume da precipitação, ocorre entre os meses de outubro e abril, sendo dezembro considerado o mês com maior volume de chuva. A bacia hidrográfica do Lago Paranoá pode ser enquadrada como de clima tropical de savana, de acordo com a classificação de Köppen.

A região do Distrito Federal apresenta três classes de solos mais importantes: Latossolo Vermelho-Escuro (38,65%), Latossolo Vermelho-Amarelo (15,83%) e Cambissolo (31,02%) segundo levantamento de solos desenvolvido pela Embrapa ano de 1978. Na sub-bacia do C.O, e particularmente na área de estudo, o tipo de solo predominante é o latossolo vermelho, em que a permeabilidade de água é alta, apesar do alto teor de argila em função da estrutura do solo (Embrapa, 2004). Essa alta permeabilidade de água reforça a ideia de

que dispositivos de infiltração de drenagem urbana podem ser soluções eficientes para reduzir os volumes escoados.

4.1.3. Geomorfologia e Relevo

De acordo com Costa (2013), o ponto mais elevado da sub-bacia do C.O., na qual localiza-se a área de estudo, é o Autódromo Nelson Piquet, em uma cota de 1.140 m e seu exutório é o Centro Olímpico da Universidade de Brasília, a 1.000 m de cota, totalizando assim um desnível de 140 m.

O mapa hipsométrico foi feito a partir de uma nuvem de pontos, proveniente de um levantamento altimétrico contratado pela Terracap com voo em 2016, no qual foi utilizado o LIDAR, um distanciômetro a laser. O mapa foi feito com uma resolução de 0,5 m e o resultado pode ser visto na Figura 4.4.

O mapa de declividades que está representado na Figura 4.5 também foi feito a partir dos dados do LIDAR e apresenta os dados de declividade em termos percentuais.

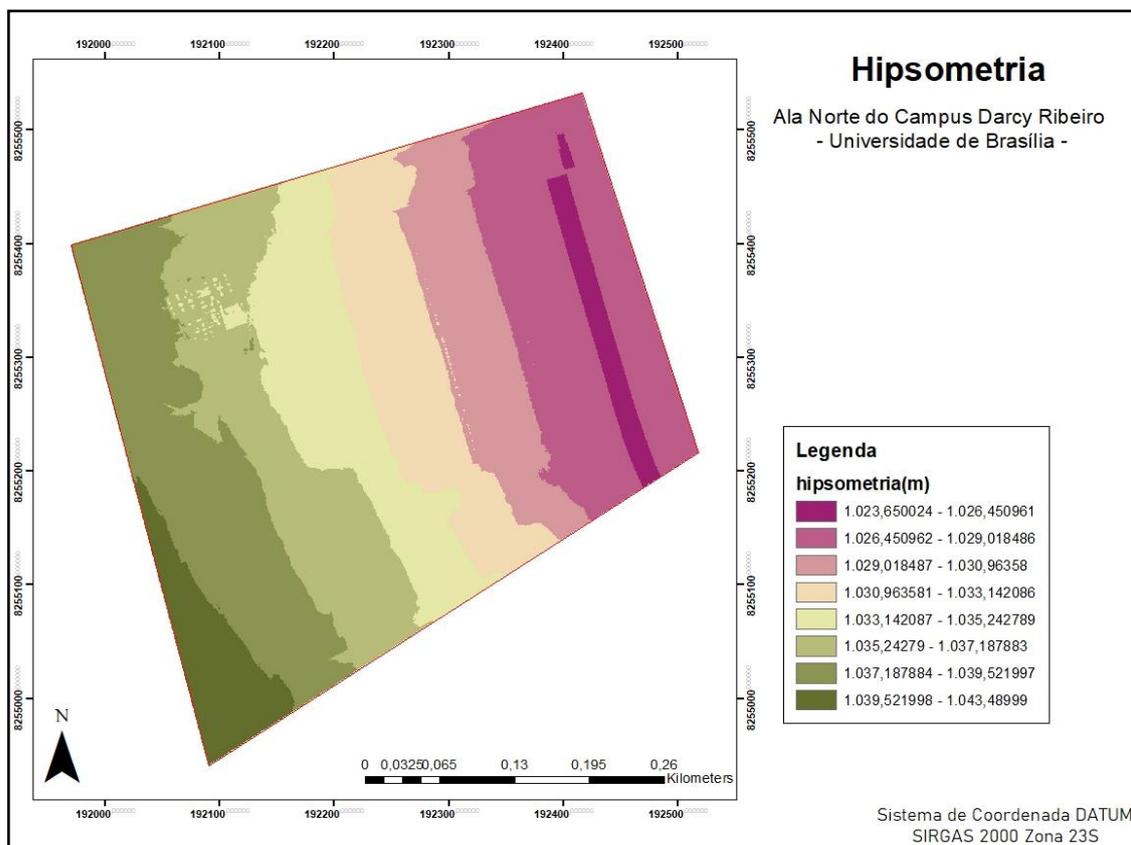


Figura 4.4- Mapa de Hipsometria da Área de Estudo.

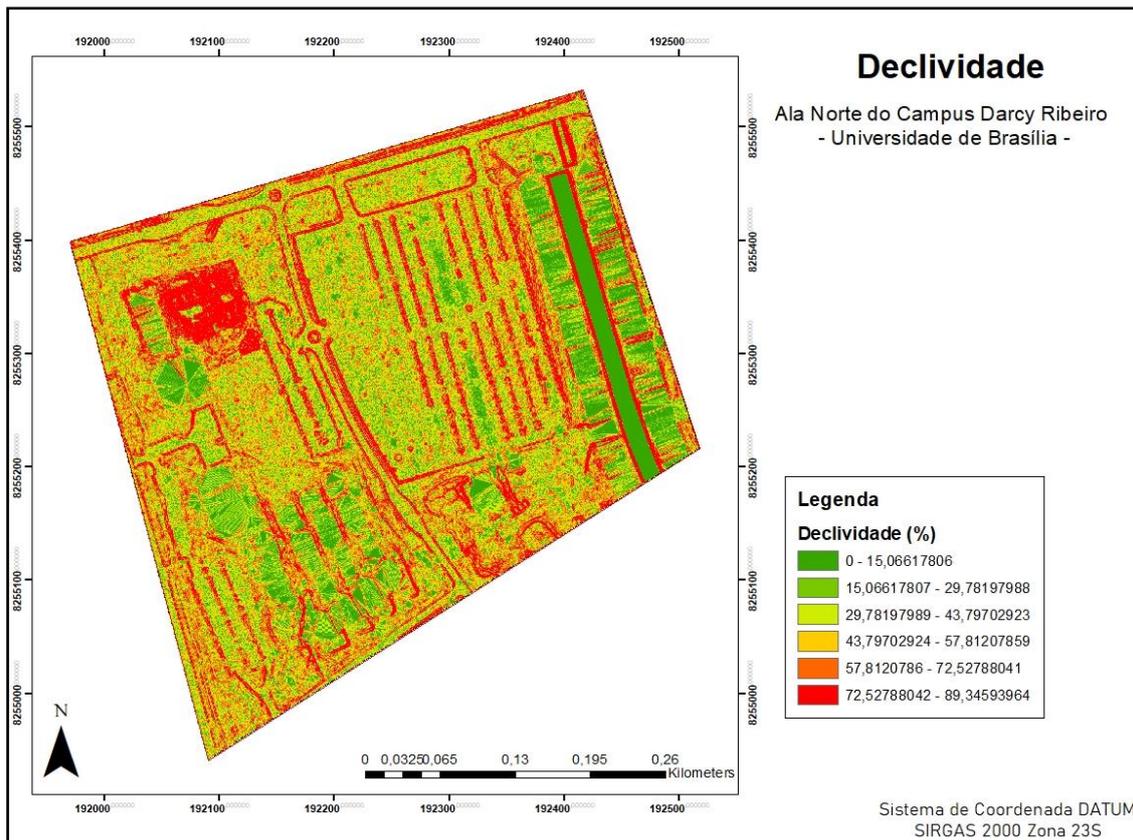


Figura 4.5– Declividade da área.

4.1.4. Vegetação

O bioma original que abrange todo o Distrito Federal é o Cerrado, a vegetação característica é classificada de acordo com a densificação da vegetação, as classes são a mata seca, que compreende formações florestais de interflúvio, cerradão, com vegetação exuberante e espécies árvores variando entre 15, 18 e 20 m de altura, cerrado típico, com a formação savânica com arbóreas atingindo até 8 m de altura, campo sujo que possui uma densa camada gramínea, campo limpo que abarca vegetação herbácea com gramíneas com alturas que vão de 0,3 a 1 m e campo rupestre, que compreende estrato herbáceo-arbustivo, com eventuais arvoretas (Tsuji, 2018).

A bacia apresenta dois grupos e duas dessas classes de vegetação, campos (limpos e sujos) e cerrado (campo-cerrado, cerrado e cerradão), com formações adicionais como matas ciliares, matas mesófilas e veredas (Costa, 2013). A vegetação é de grande importância para questões referentes à qualidade da água dos cursos d'água, pois sabe-se que a vegetação é capaz de filtrar o escoamento superficial, diminuindo assim os níveis de poluição dos corpos d'água. Essa constatação também fundamenta a ideia de que dispositivos de infiltração são

soluções inteligentes, que pensam a partir de uma perspectiva holística o sistema de drenagem urbana. Na sub-bacia em estudo praticamente toda a vegetação natural foi substituída por gramados e árvores plantadas posteriormente à urbanização.

4.1.5. Região da Faculdade de Tecnologia e Ala Norte do ICC

A região da Faculdade de Tecnologia e a ala norte ICC da Universidade de Brasília, como já mencionado, estão localizadas na sub-bacia do C.O, que possui um comprimento 15,3 km, com a cabeceira localizada no autódromo Nelson Piquet e exutório no Centro Olímpico da Universidade de Brasília.

A ocupação dessa sub-bacia é constituída de quadras comerciais, residências, setores escolares, oficinas e faculdades (Costa, 2013), 13,5% da área da sub-bacia corresponde as áreas de transportes (pistas), 45% solo exposto, campo aberto, gramados ou área arbórea e os demais 41,5% de regiões edificadas, tanto residenciais quanto comerciais.

As Superquadras Norte SQN 200 e 400 ficam mais próximas ao campus universitário, são quadras residenciais compostas por edifícios de seis e três andares, respectivamente. As quadras de comércio local norte CLN 304, 305, 306, 307, 105, 106 e 107 também ficam próximas à UnB.

Por consequência, o uso e ocupação é majoritariamente de áreas construídas. Apesar de haver uma considerável área verde nas quadras, elas não estão estruturadas para receber, reter e infiltrar as águas de drenagem. O mapa de uso e ocupação é apresentado na Figura 4.6.



Figura 4.6 – Área e mapa de uso e ocupação correspondente

A Figura 4.6 apresenta as classificações de uso e ocupação da ala norte do campus Darcy Ribeiro, e mostra que a maior da parte da área é impermeabilizada, a área vegetada apresentada em verde trata-se de área gramada com alguns arbustos. Uma galeria que drena parte da sub-bacia a montante da área de estudo recebe, em frente à FT, a rede que vem da via L2 norte e prossegue até o C.O., com uma seção quadrada com dimensões de 2,2 x 2,2 m. O cadastro da rede da Universidade de Brasília está em plantas da Novacap e está sendo

recadastrada pela Adasa. A partir desses dados, juntamente com o conhecimento de campo da área, a rede foi desenhada de modo a ser representada no PCSWMM e o resultado está representado na Figura 4.7. Nota-se que a rede conta com três saídas, mas as duas principais estão indicadas pelas setas azuis.

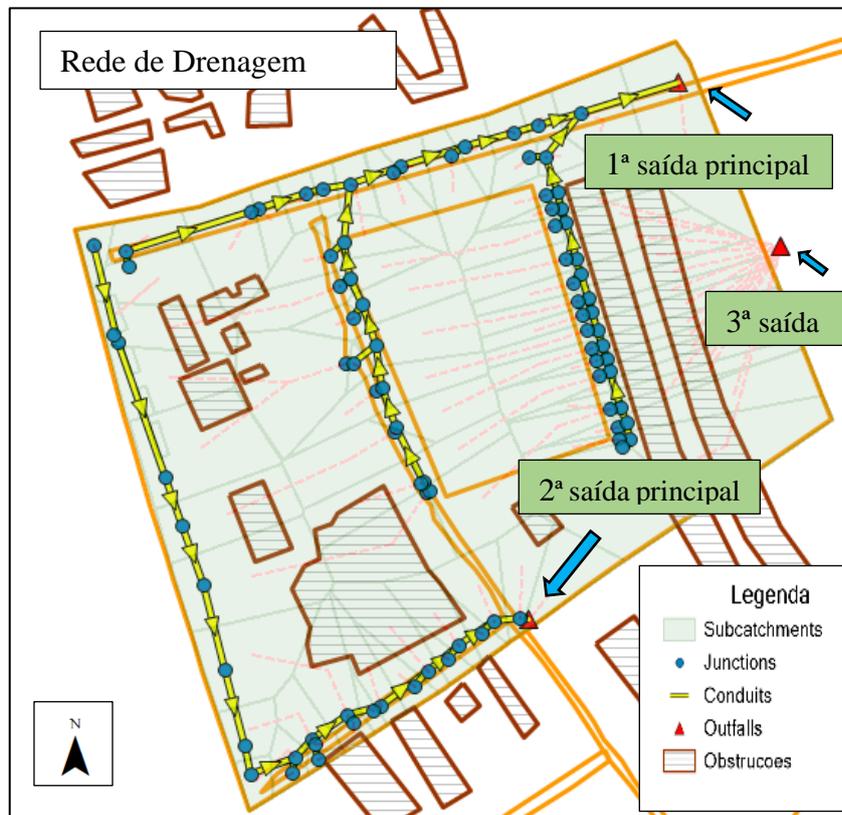


Figura 4.7- Rede de drenagem utilizada para a simulação no modelo 2D do PCSWMM.

4.2. MODELAGEM MATEMÁTICA UTILIZANDO O PROGRAMA PCSWMM

Por meio da análise 1D dentro do PCSWMM é possível realizar as simulações do fluxo interno às galerias; quando há afogamento das tubulações, ocorre pode ocorrer o transbordamento pelos poços de visita. Para quantificar o escoamento superficial e a infiltração, além do Método Curva Número foi utilizada a forma de escoamento da onda dinâmica.

O PCSWMM 2D foi utilizado para realizar as simulações hidrodinâmicas da água excedente que escoam pela superfície do terreno, com isso, foi possível viabilizar a análise dos cenários de alagamentos, estabelecendo comparações entre eles.

A chuva utilizada como entrada do modelo foi uma chuva de projeto, estimada por meio do método dos blocos alternados, utilizando a curva IDF proposta no PDDU (2009), apresentada na Equação 4.1.

$$i = \frac{1574,70 * T_R^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}} \quad \text{Equação 4.1}$$

Em que:

i = Intensidade da chuva (mm/h);

T_R = Tempo de retorno (ano);

t = duração da chuva (min).

A malha de nós do 2D, que representa a superfície do terreno, é feita a partir de um Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Superfície (MDS) fornecidos como entrada no programa. Para este trabalho, optou-se pelo MDT, como já foi detalhado.

São necessários também outros dados para que a malha seja gerada, como o contorno da área, localização e extensão de obstruções, que representam barreiras físicas à passagem da água. A partir da malha, é possível utilizar uma ferramenta do PCSWMM 2D que permite que toda a estrutura do sistema de drenagem concebida no 1D se conecte ao 2D. Para isso, é necessário que se opte por uma das duas opções de conexão. Na primeira, a conexão é feita por meio de orifícios que ligam os PVs da rede de drenagem aos nós da malha 2D. Assim, quando um poço de visita atinge sua capacidade máxima e extravasa, a água excedente é lançada na malha, passando a compor o escoamento superficial do local.

A segunda opção disponível para essa conexão é a chamada conexão direta, essa alternativa faz com que os nós da malha que ficam mais próximos aos PVs da rede sejam sobrepostos a eles. Além disso, as elevações desses nós que foram realocados são atribuídas aos poços de visita.

Considerando as indicações dos desenvolvedores do programa PCSWMM 2D, foi adotada a alternativa de conexão por meio de orifícios neste trabalho, pois é mais adequada para avaliações em áreas urbanas, enquanto a conexão direta se adequa melhor à trabalhos com canais abertos e rios. Com base nos problemas ocorridos e possíveis soluções, foram definidos os cenários a serem analisados. O cenário 1 corresponde ao cenário base, que representa a situação da drenagem atual da área, sem nenhuma intervenção. Os outros

cenários incluem algum tipo de intervenção e foram delineados com base na atual área disponível para implantação das soluções nos locais onde ocorrem alagamentos.

Todos os cenários foram simulados para chuvas com tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos e 24h de duração

Como técnicas LID utilizou-se as valas de infiltração, pois, além de infiltrar água, esses dispositivos permitem um certo redirecionamento do fluxo, isso pode auxiliar na mitigação dos alagamentos nas edificações.

Os impactos das soluções propostas foram avaliados com base nos resultados de escoamento superficial nas sub-bacias, nos volumes de água nas saídas da rede e no acúmulo de água superficial na área.

A partir do mapa de uso e cobertura do solo foi possível definir os valores de CN para as sub-bacias, parâmetro necessário para a utilização do método de infiltração da Curva Número. O valor de CN varia de acordo com o tipo de solo, uso e ocupação e condições de umidade, assim esse parâmetro foi atribuído individualmente às sub-bacia de acordo com a sua composição. Os valores utilizados estão em consonância com Tucci (1993) e são apresentados na Tabela 4.1.

Para o tratamento da base de dados, foram utilizados também programas de geoprocessamento, como o ArcGIS e o QGIS.

Na simulação do escoamento na rede de drenagem, o valor da rugosidade de manning adotado foi de 0,013 (concreto em bom estado de conservação). Para a discretização das sub-bacias do modelo, utilizou-se a ferramenta *Voronoi Decomposition*, que aplica à área pretendida o processo de decomposição de Voronoi. Esse método consiste na divisão de regiões com base em sua distância a determinados pontos, para isso foram considerados os PVs da rede de drenagem. O resultado é mostrado na Figura 4.8.

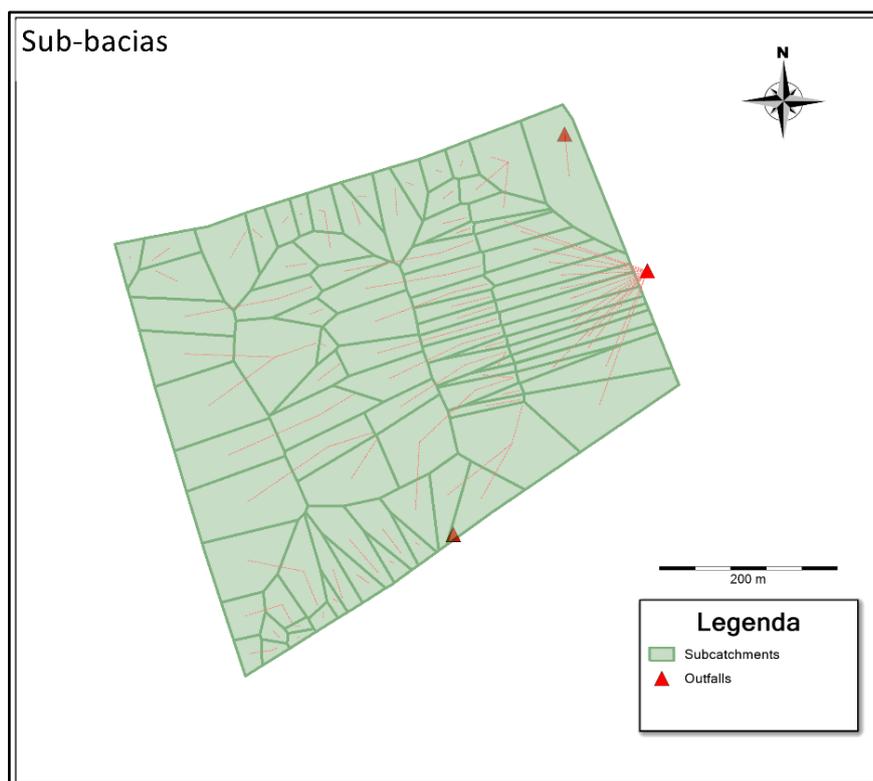


Figura 4.8 - Sub-bacias geradas para a área de estudo.

Tabela 4.1 - Valores de CN referentes ao método SCS utilizado.

Classificação	CN
Formação Campestre	39
Área Construída	85
Formação Florestal	56
Formação Savânica	39
Solo Exposto	72
Sistema Viário	98

As valas de infiltração propostas são revestidas de gramíneas e foi atribuído a elas o mesmo valor de CN da classe de formação campestre, de 39.

Os exutórios (*outfalls*) foram considerados de forma a absorver o fluxo conduzido pela rede para fora da área de estudo. Foram introduzidas três saídas, a primeira funciona como exutório do ramal que se estende desde o início da via L3 dentro da área analisada até a altura do lado norte do Instituto de Artes (IDA) da Universidade de Brasília, considerando que

nesse ponto o fluxo é desviado para a galeria do C.O. A segunda saída foi alocada próximo à extremidade norte do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília, já a terceira saída foi admitida em função do escoamento das sub-bacias que se localizam na periferia leste da área de interesse direcionarem seus escoamentos para jusante da área de interesse.

4.2.1. Cenários de Simulação

4.2.1.1 Cenário 1 - Cenário Base

Como o cenário base representa as condições atuais da região de estudo, ele será a referência para a análise de eficiência das propostas de intervenção presentes nos demais cenários. A Figura 4.9 mostra a representação do cenário base dentro do PCSWMM.

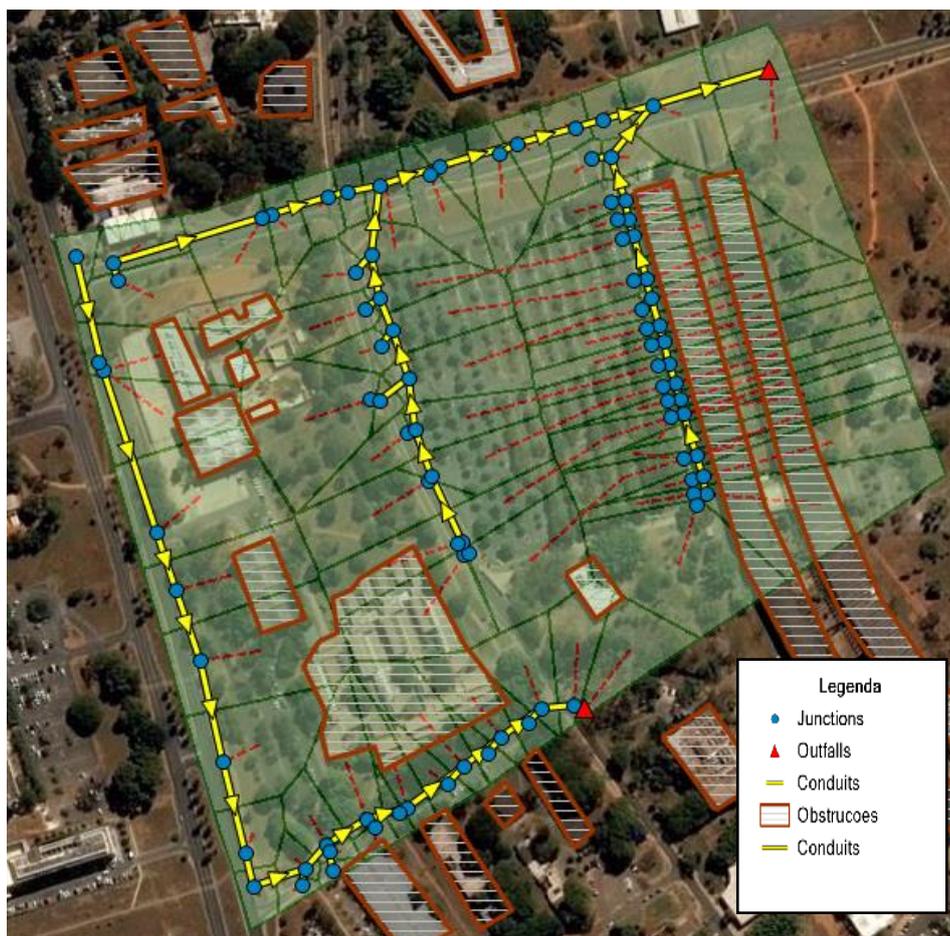


Figura 4.9 - Representação do Cenário Base.

Além da chuva de projeto atribuída às sub-bacias, a água gerada a montante da área do campus e que não pôde ser absorvida pela rede existente, de acordo com o estudo de Costa

(2013), foi lançada superficialmente no limite de montante da área de estudo. Distribuiu-se o hidrograma desse extravasamento ao longo de dez nós da malha 2D na via L3, que são mostrados na Figura 4.10. Isso foi feito de forma a representar a carga gerada na região a montante e que entra no campus.

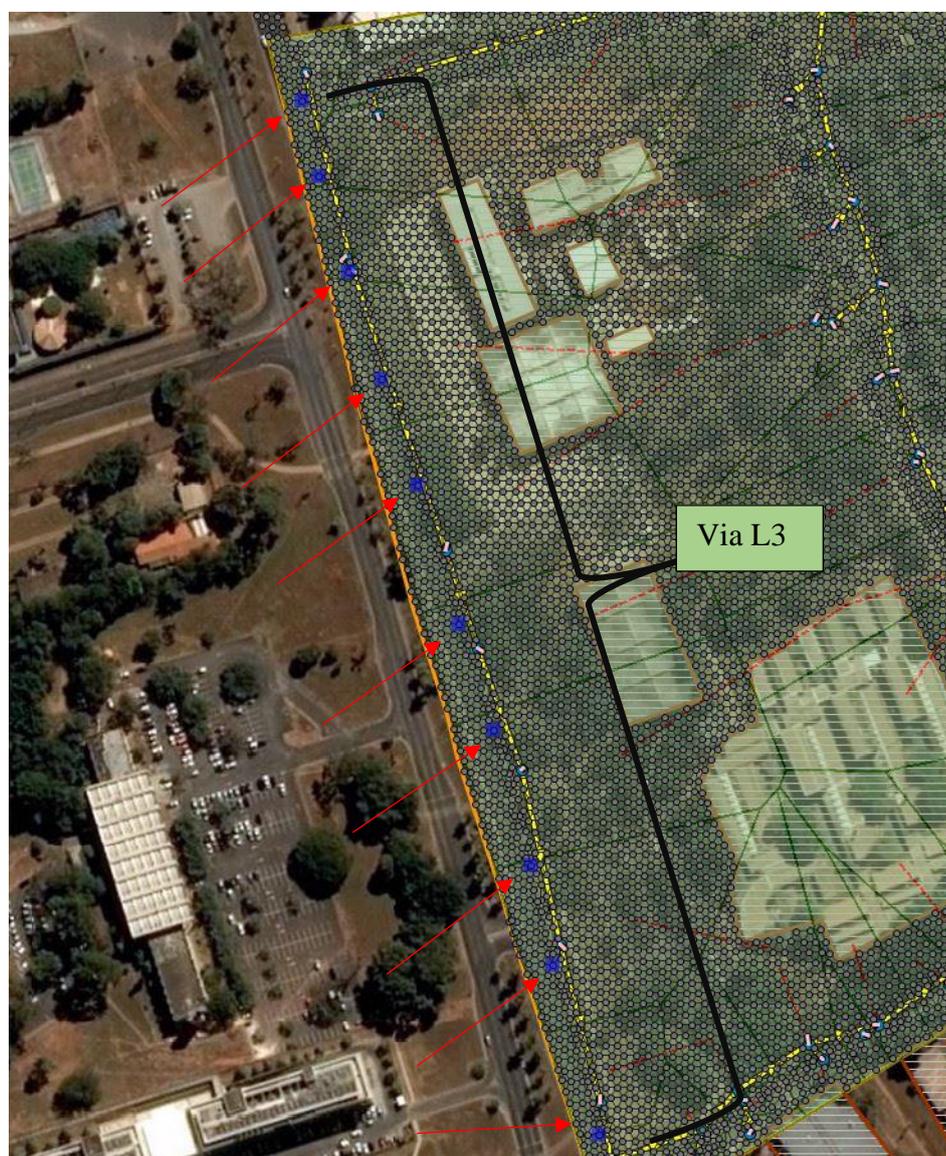


Figura 4.10 - Nós da malha 2D que receberam o hidrograma do flooding dividido por dez.

Apesar da rede de drenagem de Costa (2013) ser independente da rede interna do campus Darcy Ribeiro, sabe-se que há um grande volume de água que chega ao sistema de drenagem do campus proveniente da carga a qual a rede da região de montante não é capaz de absorver. Os valores de pico dos hidrogramas de extravasamento são apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 Valores de Pico dos Hidrogramas

Valores de Pico dos Hidrogramas de Extravasamento (m ³ /s)	
TR = 2 anos	0,17
TR = 5 anos	0,90
TR = 10 anos	1,60

4.2.1.2. Cenário 2 - Cenário com Vala de Infiltração em Frente ao ULEG e Valas no ICC Norte

A primeira proposta de solução é composta por uma vala de infiltração no canteiro que se localiza em frente a Unidade de Laboratórios de Ensino e Graduação da Faculdade de Tecnologia (ULEG) e outras três valas em série no estacionamento do ICC norte. A Figura 4.14 mostra a representação desse cenário no modelo.

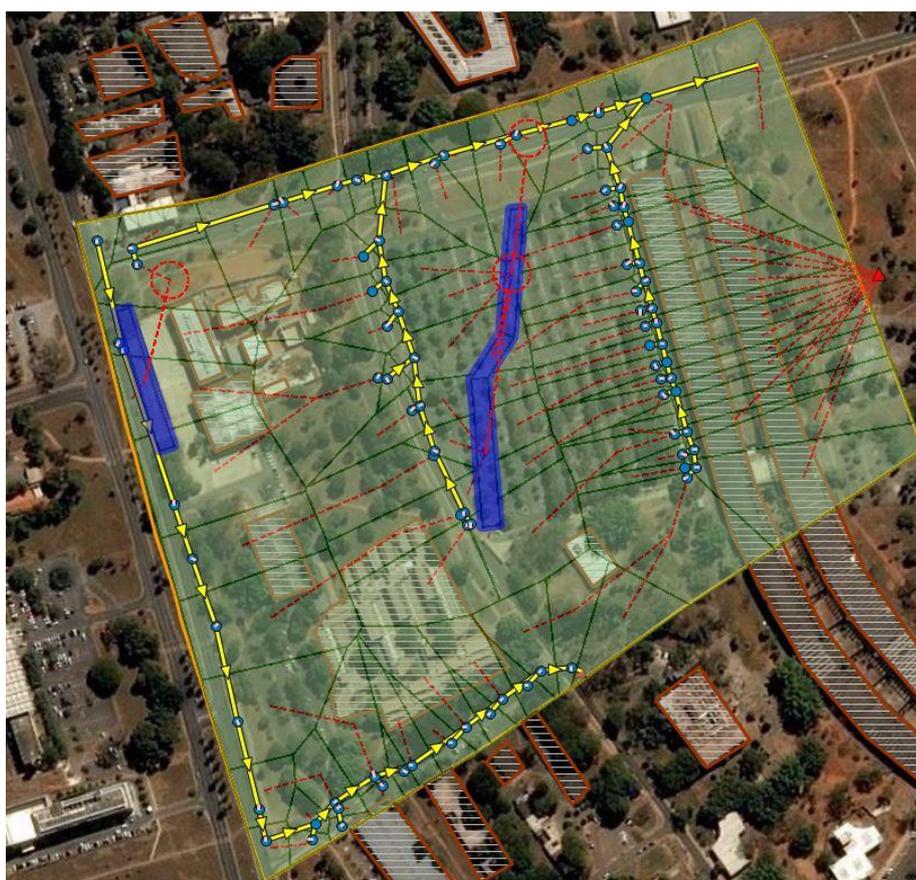


Figura 4.11- Representação do cenário 2

O coeficiente de rugosidade atribuído às valas foi de 0,15, mesmo valor atribuído a superfícies de grama rasteira (Engman, 1986 *apud* Rossman e Huber, 2016). Já a inclinação

adotada, foi de 1,54% para a vala ICC 1, 3,07% para a vala ICC 2, 0,88% para a vala ICC 3 e 0,41% para a vala ULEG. Esses valores foram calculados de acordo com as elevações do Modelo Digital de Terreno. As dimensões dessas valas estão indicadas na tabela 3 e a Figura 4.15 mostra a estrutura das valas de forma mais detalhada.

Tabela 4.3 - Dimensões das valas do cenário 2

Vala	Comprimento(m)	Largura(m)	Profundidade(m)
Vala ULEG	90,00	6,00	0,50
Vala ICC 1	110,16	2,00	1,00
Vala ICC 2	37,49	2,00	1,00
Vala ICC 3	150,00	2,00	1,00

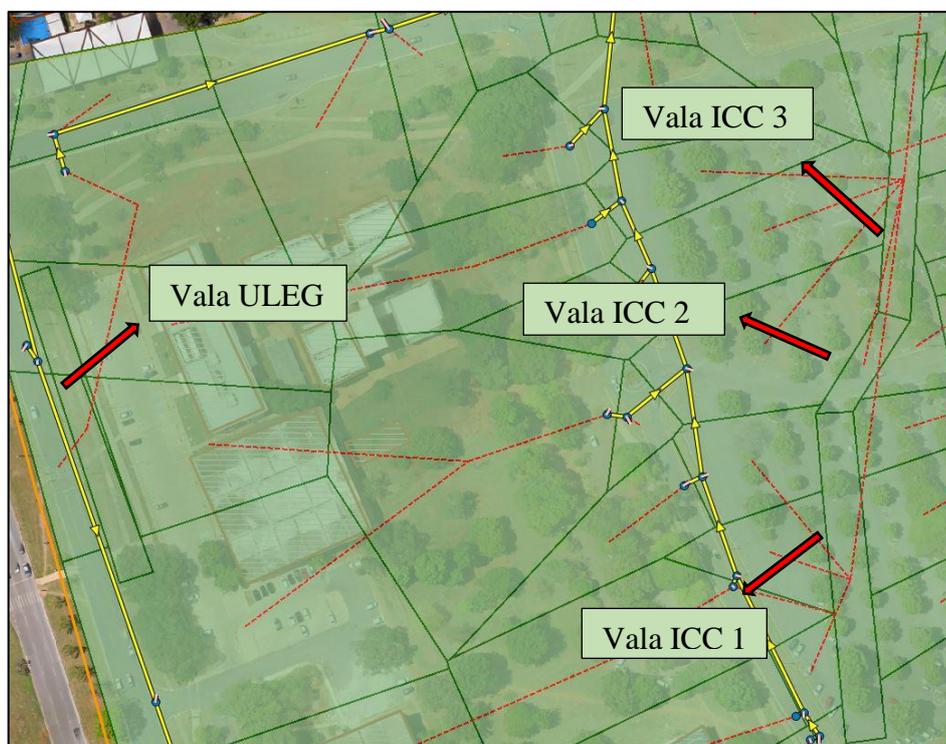


Figura 4.12- Estrutura das valas do cenário 2 com maior riqueza de detalhes

A elevação de topo de alguns nós da malha 2D adjacentes à vala da ULEG e às valas 2 e 3 do ICC foram aumentadas a fim de representar uma barreira física que pode ser feita até mesmo com o próprio solo escavado, com os objetivos de não deixar com que a água que não infiltre nas valas chegue ao prédio e de direcionar o fluxo de água para a entrada do ICC. Em termos de execução, esse direcionamento pode ser feito por meio de um rebaixamento da guia, que encaminha o fluxo da via para as valas em vez de descer em direção ao prédio

do ICC. Na figura 4.13 estão indicadas em preto as extensões nas quais os nós da malha tiveram suas cotas de topo modificadas.

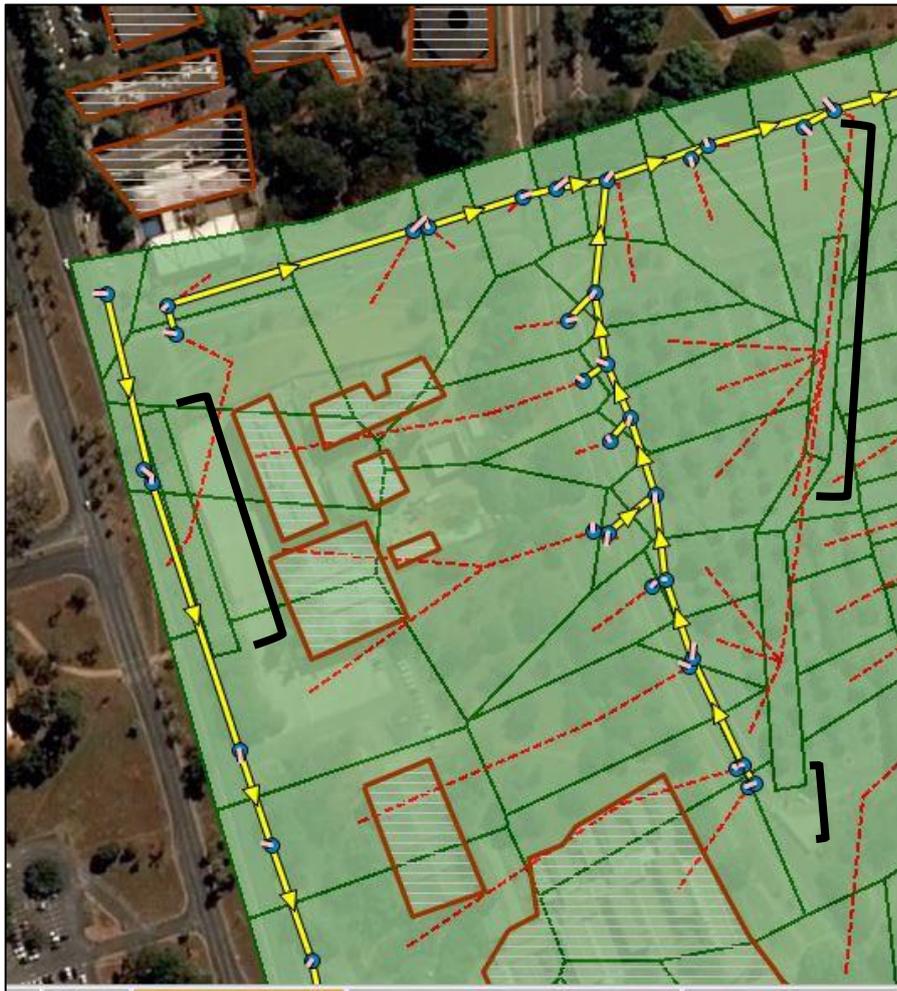


Figura 4.13 - Localização dos nós da malha que foram modificados

Com relação à modificação nos nós da malha adjacentes a vala 2 do ICC, o aumento da elevação de topo dos nós da malha foi feito apenas nos nós que se encontram na região em que a água adquire uma certa velocidade em função da mudança de direção acentuada que ocorre na passagem da segunda vala para a terceira.

4.2.1.3. Cenário 3: Com vala de infiltração em frente à ULEG e modificação de uma lombada acompanhado de calha

Nesse cenário, a área de análise é um pouco mais restrita com relação aos cenários anteriores, pois o foco é verificar o impacto da implantação de uma calha junto a uma lombada que fica entre o Laboratório de Hidráulica da FT e a ULEG. Assim, não foi realizada nenhuma intervenção na região do ICC Norte, o único dispositivo LID implantado foi a vala de

infiltração que fica em frente à ULEG, detalhada no cenário 2. Foram acrescidos 15 cm à altura da lombada a fim de que ela retenha água do escoamento superficial e esse volume retido seja coletado pela calha, a qual canaliza a água para dentro da vala de infiltração. Essa análise foi proposta a fim de amenizar a quantidade de água que escoava para dentro do estacionamento da Faculdade de Tecnologia e para jusante. Na Figura 4.16 pode-se notar que a área simulada conta com a mesma estrutura dos cenários anteriores, com exceção da calha, que foi destacada em outra cor no detalhe da imagem.

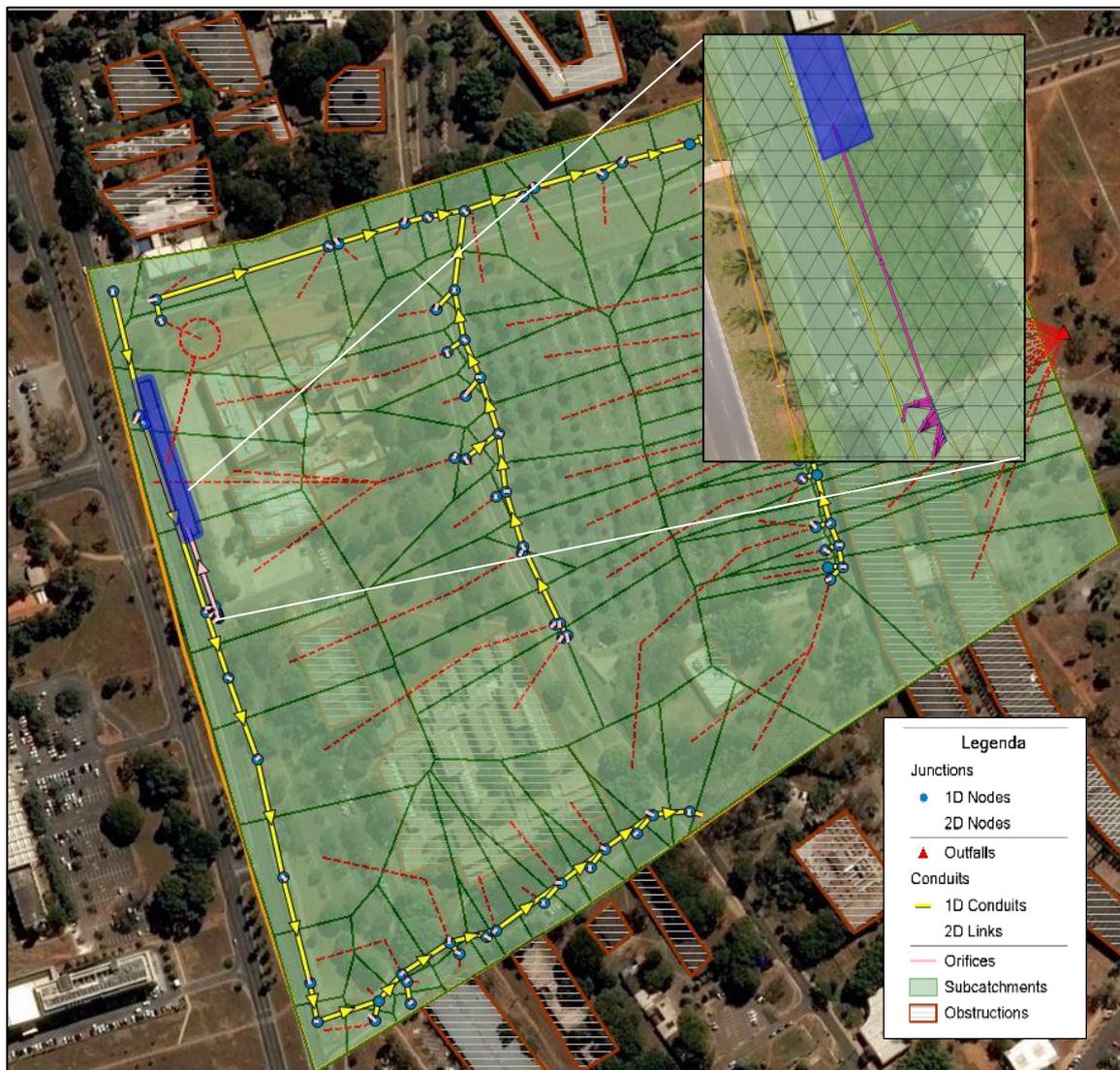


Figura 4.14 - Representação do cenário 3

Na Figura 4.17 foi feita uma aproximação no local de implantação da calha, a malha 2D foi incluída na imagem a fim de proporcionar uma melhor compreensão da representação da calha.

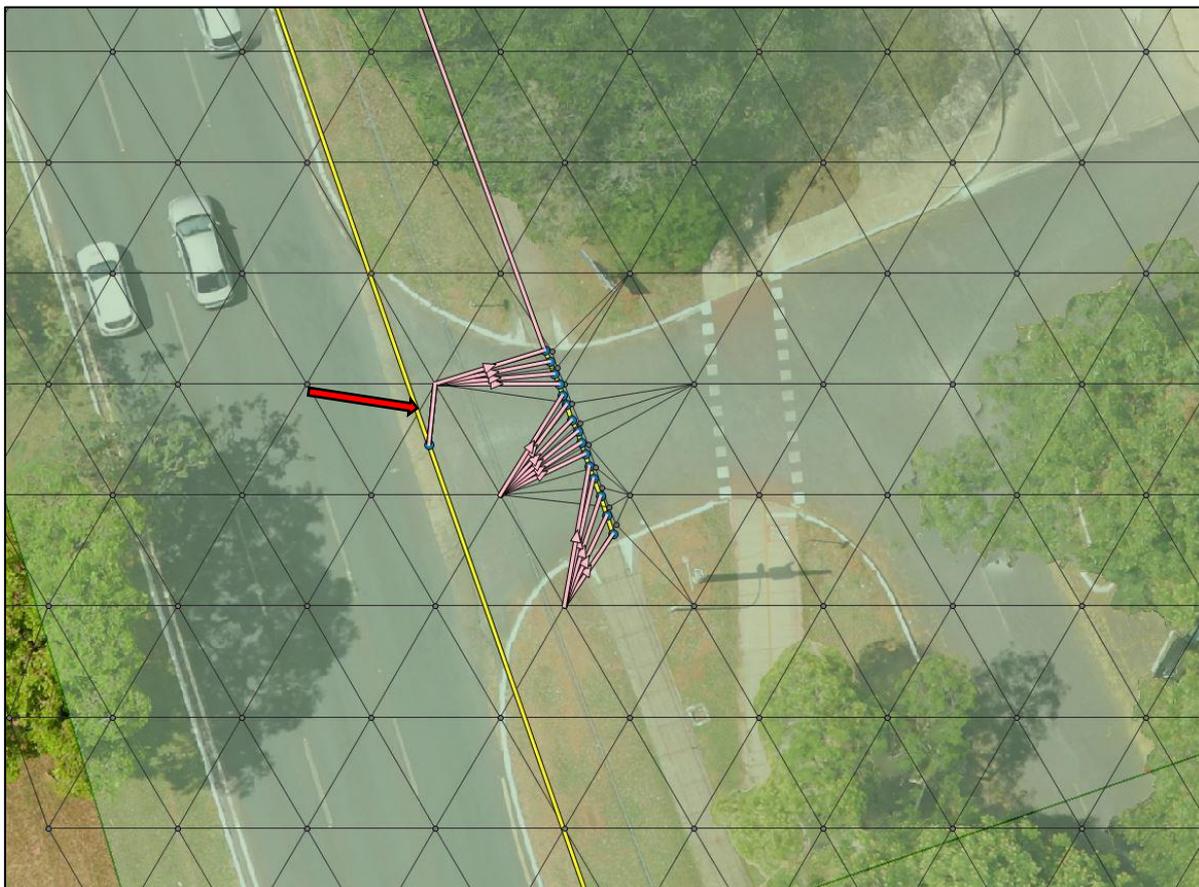


Figura 4.15 - Representação da estrutura da calha dentro do PCSWMM 2D

Na imagem é possível perceber que há uma conexão feita por meio de orifícios interligando os nós da malha e as *junctions* 1D que compõem a estrutura da calha. O orifício que aparece na imagem e está indicado pela seta vermelha não faz parte da estrutura que desempenha esse papel de conexão com a calha, mas trata-se dos orifícios que são adicionados automaticamente ao modelo quando a ferramenta *connect 1D to 2D* é utilizada. Na Figura 4.16, a imagem aproximada mostra mais detalhadamente a estrutura da calha e da lombada que foi modificada.

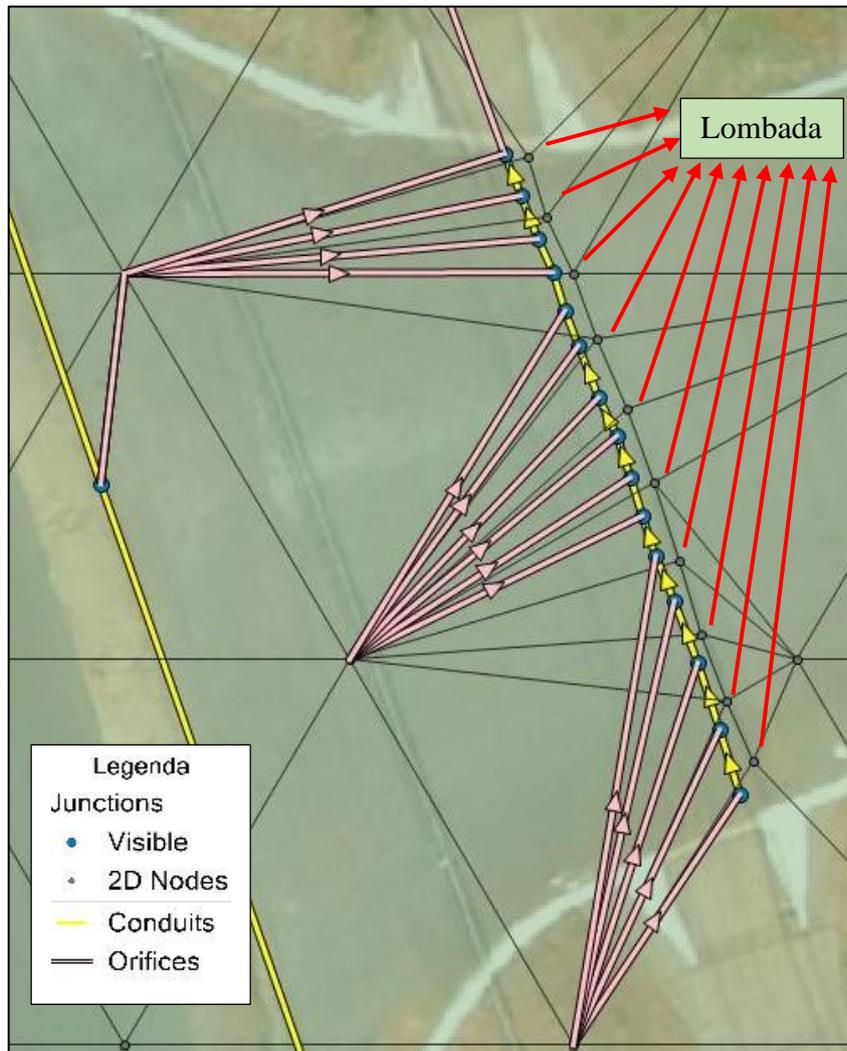


Figura 4.16 - Detalhamento da calha e da lombada

Além das *junctions* 1D, a estrutura da calha também conta com pequenos condutos que ligam umas às outras, como pode ser visto na Figura 4.16. As dimensões da calha real correspondem a 28 cm de altura e 15 cm de largura, assim foram atribuídas essas mesmas características a esses condutos utilizados na representação. O formato escolhido para os condutos foi o de *parabolic*, pois trata-se do formato de conduto disponível no PCSWMM que mais se assemelha formato real.

A conexão entre a calha e a vala foi feita também por meio de um orifício que liga a última *junction* da estrutura da calha a um nó da malha que se localiza na borda da vala. A opção de estabelecer um nó do 2D como saída do orifício baseou-se no fato de que a água canalizada pela calha faz parte do escoamento superficial que chega à vala.

Já a representação da lombada com acréscimo de 15 cm a sua altura consiste nos nós 2D indicados pelas setas vermelhas na imagem. O aumento na elevação da lombada foi feito da

mesma forma que se representou a barreira física feita com solo escavado no cenário 2, aumentando a cota de tampa dos nós da malha.

4.2.1.4. Cenário 4: Com quatro valas em frente à ULEG e modificação de um quebra-molas acompanhado de uma calha

Esse cenário corresponde as mesmas condições do cenário anterior com relação à calha que é implantada junto a um quebra-molas, ao qual são acrescidos 15 cm à sua altura. A diferença encontra-se no fato de que no lugar de uma única vala de infiltração localizada no canteiro em frente ao ULEG, são implantadas quatro valas, que direcionam seus excedentes de água uma para a outra, até que a última faz o direcionamento para a sub-bacia localizada a jusante. Assim, valores de parâmetros como rugosidade de Manning e inclinação das valas foram mantidos os mesmos do cenário anterior. Essa proposta foi pensada de forma que alguns aspectos como a localização postes, passagem de pedestre, placas sinalizadoras e ciclovias fossem levados em conta e não tivessem de ser reduzidos ou suprimidos com a presença da vala.

Dessa forma, comprimento e a largura das valas foram dimensionados de acordo com o espaço que se tem disponível no canteiro atualmente sem nenhuma alteração a não ser a implantação das valas. Essas dimensões são apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Dimensões das valas do cenário 4

Vala	Comprimento(m)	Largura(m)	Profundidade(m)
Vala ULEG 1	20,00	6,00	0,50
Vala ULEG 2	36,67	6,00	0,50
Vala ULEG 3	38,33	6,00	0,50
Vala ULEG 4	30,00	6,00	0,50

A figura 4.17 mostra a representação do cenário no PCSWMM, a qual permite a verificação de as condições permanecem iguais às apresentadas no cenário anterior, diferenciando-se apenas pela implantação das quatro valas na altura do ULEG.

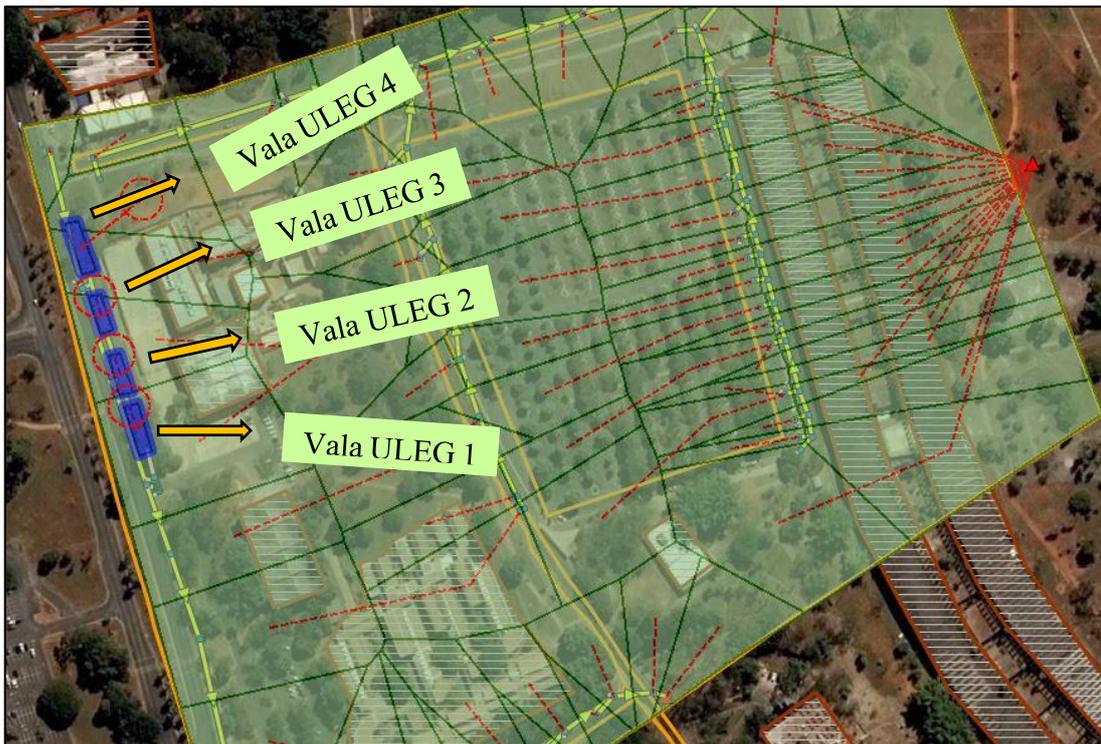


Figura 4.17 – Representação do cenário 4

Na figura 4.18 é possível visualizar as valas com maiores detalhes, nessa imagem a malha 2D não foi incluída mas a articulação entre a calha e a vala continua a mesma.

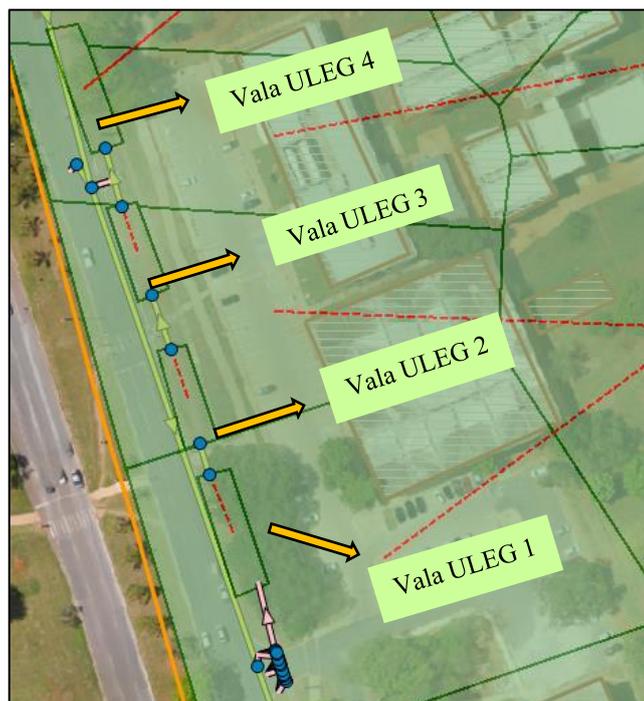


Figura 4.18 - Detalhamento das valas de infiltração do cenário 4

Nota-se que a passagem da água excedente de uma vala para outra é feita por meio de drenos subterrâneos, que foram representados por *junctions* (nós 1D) com elevações de tampa correspondentes à profundidade das valas. Com relação à estrutura da calha e do quebra-molas, foram mantidas as mesmas condições. Os nós da malha também sofreram alterações em suas elevações de tampa, como nos cenários anteriores.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados os resultados referentes ao escoamento superficial que as sub-bacias adjacentes às valas de infiltração produzem, pois, as modificações com relação a essa variável são um bom indicador de eficiência. Essas sub-bacias, que se localizam próximas ao prédio do ULEG e no estacionamento do ICC Norte, são apontadas na Figura 5.1.

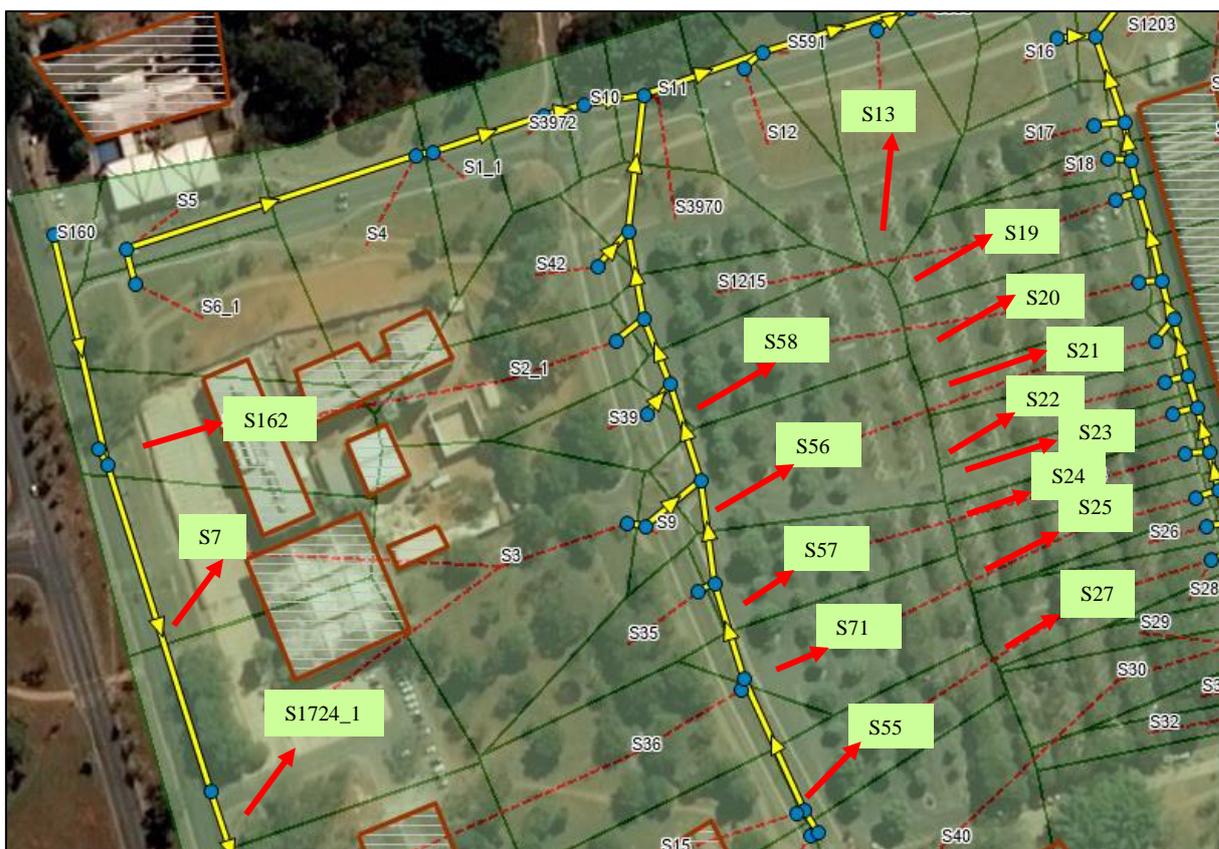


Figura 5.1- Sub-bacias de interesse na instalação das valas de infiltração.

Além disso, são apresentadas as imagens que mostram os principais momentos do comportamento do escoamento superficial de cada cenário ao longo das 24 horas de simulação, considerando que o objetivo principal do estudo é mitigar os alagamentos das edificações da região de estudo, esses resultados são importantes para concluir se as propostas de solução produzem o impacto pretendido. Os valores de vazões máximas que chegam até às saídas da rede também são apresentados a fim de analisar a coerência dos resultados de acordo com as estruturas implantadas.

5.1. CENÁRIO 1: BASE

Os resultados referentes ao cenário base com TR = 2 anos mostram que as duas principais saídas da rede, localizadas próximo à extremidade norte do ICC e ao lado norte do Instituto de Artes, recebem um volume total de 6027m³ e 1061m³, respectivamente. Na Tabela 5.1 são apresentados os valores de escoamento superficial gerado pelas sub-bacias apontadas na figura 5.1 nos cenários com TR de 2, 5 e 10 anos.

Tabela 5.1 - Valores de Escoamento Superficial das Sub-bacias no Cenário Base com TR = 2, 5, e 10 anos.

Sub-bacia	Vazão Máxima de Escoamento Superficial (m ³ /s)		
	TR = 2 anos	TR = 5 anos	TR = 10 anos
S27	0,136	0,165	0,191
S25	0,170	0,208	0,241
S24	0,139	0,169	0,196
S23	0,048	0,059	0,069
S22	0,058	0,071	0,083
S21	0,208	0,254	0,294
S20	0,184	0,225	0,261
S19	0,119	0,145	0,168
S13	0,047	0,094	0,117
S58	0,128	0,156	0,180
S56	0,177	0,215	0,249
S57	0,108	0,132	0,152
S71	0,133	0,162	0,189
S55	0,090	0,110	0,127
S162	0,142	0,180	0,215
S7	0,172	0,215	0,252
S1724	0,269	0,340	0,405

A seguir é mostrado na Figura 5.2 uma sequência de imagens dos principais momentos da evolução do escoamento superficial e do acúmulo de água em toda a área de estudo com o tempo de retorno de 2 anos, as imagens foram retiradas do vídeo que é gerado após a simulação ser feita.

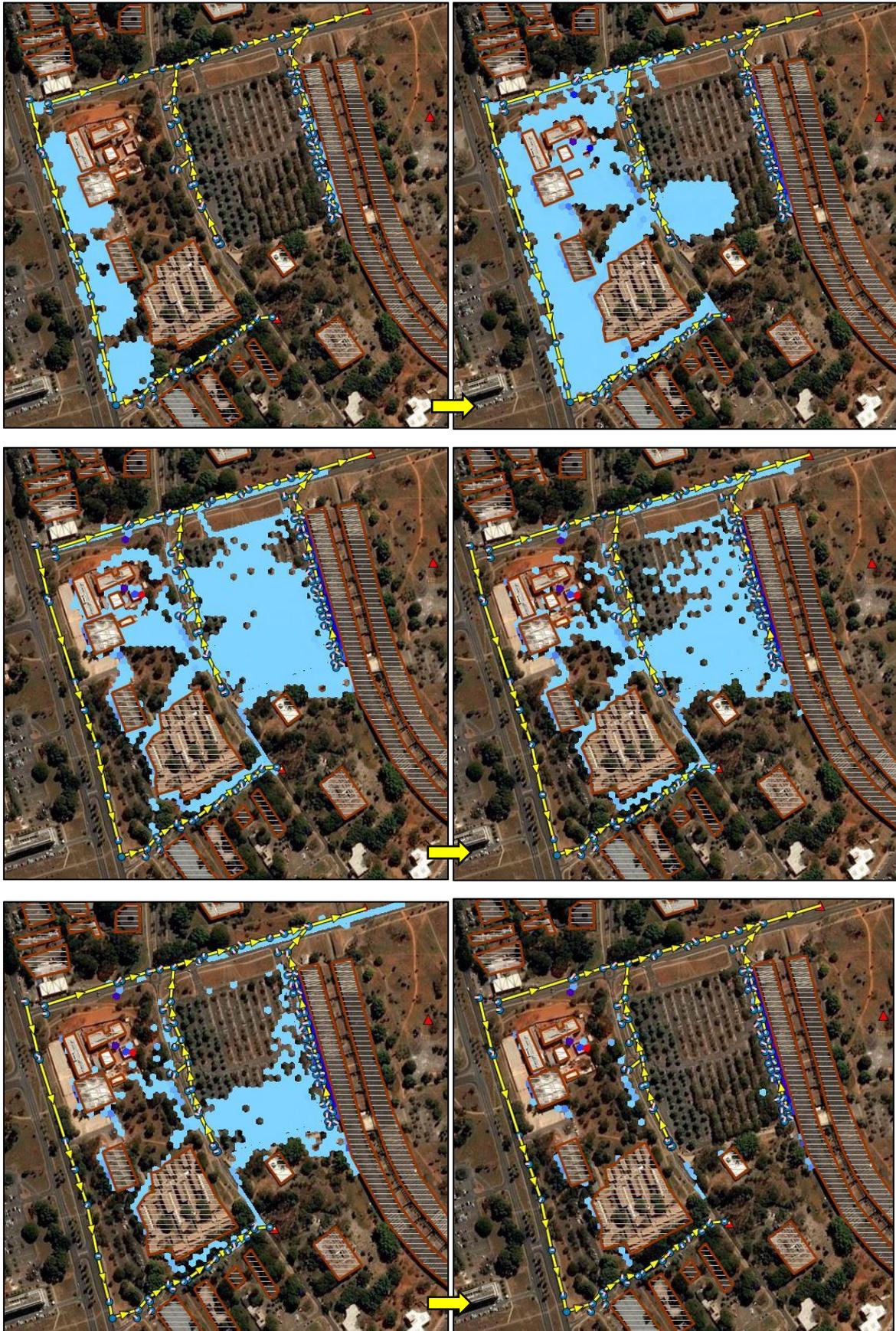
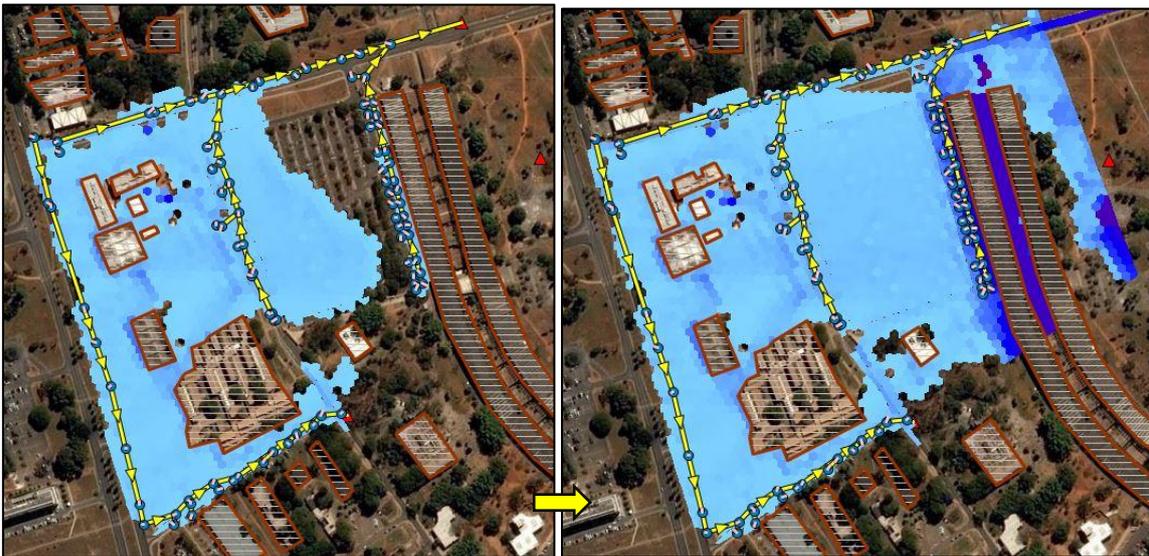


Figura 5.2– Comportamento do escoamento superficial no cenário base às 0h05, 0h15, 0h25, 0h30, 0h35 e 1h40 com TR = 2 anos.

Mesmo com uma chuva de tempo de retorno relativamente pequeno já é possível notar que há uma grande parte do escoamento superficial originado próximo aos prédios do ULEG e da FT que desce em direção ao estacionamento do ICC Norte e acumula nessa área. Outro fato possível de se observar comparando a segunda e a terceira imagem, é que o acúmulo de água em frente à FT e ao ULEG reduz significativamente em um curto espaço de tempo, considerando que a segunda imagem é de 0h15 e a terceira de 0h25.

Apesar de haver um acúmulo de água notório entre os dois prédios que compõem o ICC Norte e em sua fachada, sabe-se que os alagamentos não são originados na própria edificação, isso ocorre nas simulações em função do escoamento superficial no PCSWMM 2D ser orientado pelo Modelo Digital de Terreno. Dessa forma, como o prédio localiza-se em uma região baixa, e há esse espaço vazio entre os prédios, a água se acumula nesses pontos.

Ainda no cenário base, atribuindo-se uma chuva de 5 anos de tempo de recorrência às sub-bacias, as duas principais saídas da rede receberam 7560m³ e 1379m³ de volumes totais. A evolução do escoamento superficial e do acúmulo de água do cenário base recebendo a chuva de TR = 5anos também é apresentada na Figura 5.3



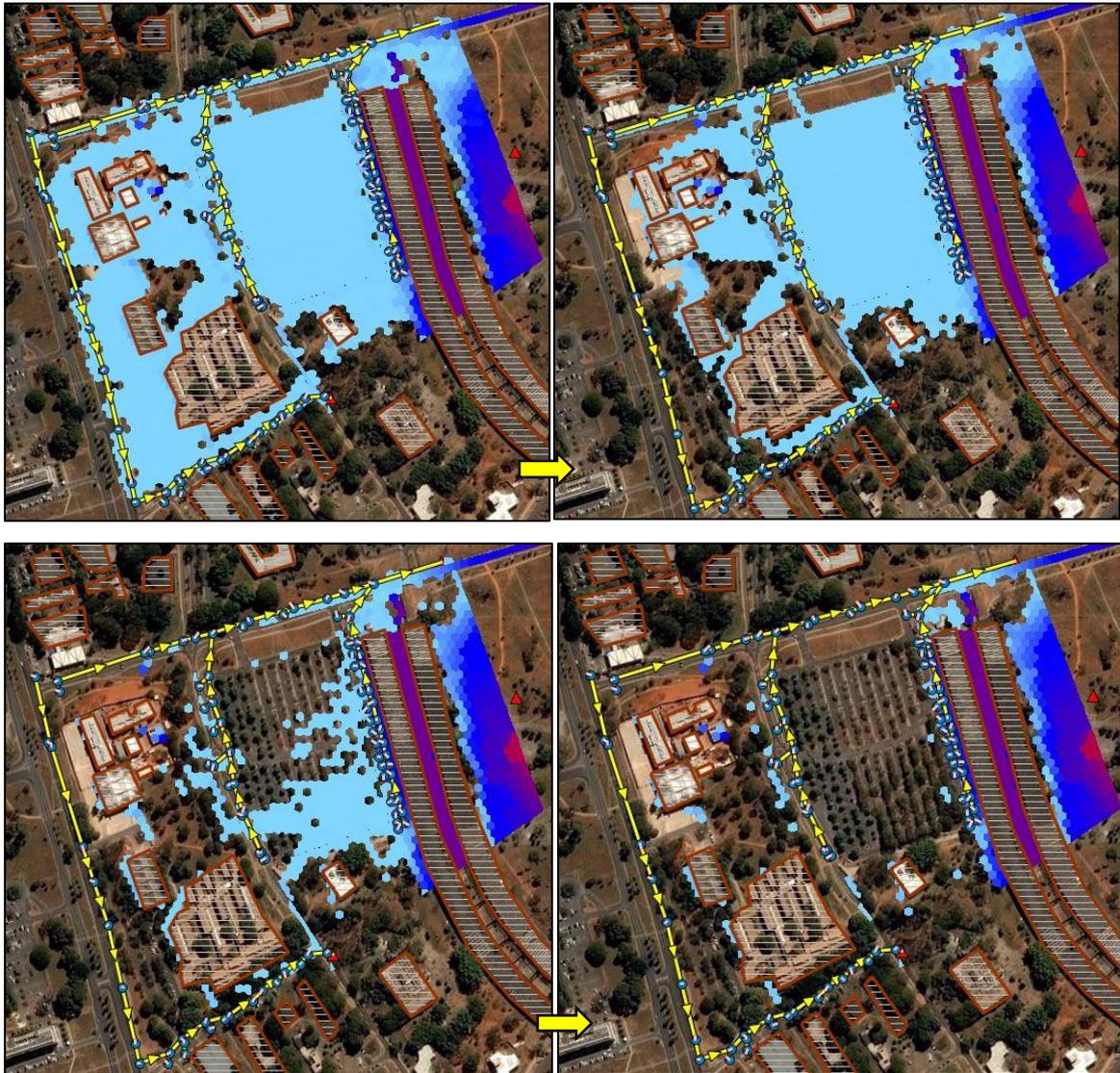


Figura 5.3- Comportamento do escoamento superficial no cenário base às 0h05,0h15, 0h30, 0h35,0h50 e 1h40 com TR = 5 anos.

Com 5 anos de tempo de retorno já é possível notar que o escoamento superficial advindo da região que fica mais ao norte também desce em direção a ala norte do Instituto Central de Ciências e contribui para o acúmulo de água em frente ao prédio.

Além disso, é possível verificar por meio das cores da representação do escoamento que há traços de fluxo mais escuros, o que indica que há um volume de água consideravelmente maior com relação à simulação com chuva de TR = 2 anos.

Por fim, a última simulação feita com o cenário base possui uma chuva de TR= 10 anos. Os valores máximos de escoamento superficial nas sub-bacias com esse tempo de retorno também são mostrados na Tabela 5.1, as duas principais saídas da rede registraram volumes de 9040m³ e 1727m³, respectivamente. Na Figura 5.4 é apresentado o comportamento do escoamento superficial dessa simulação em diferentes momentos.

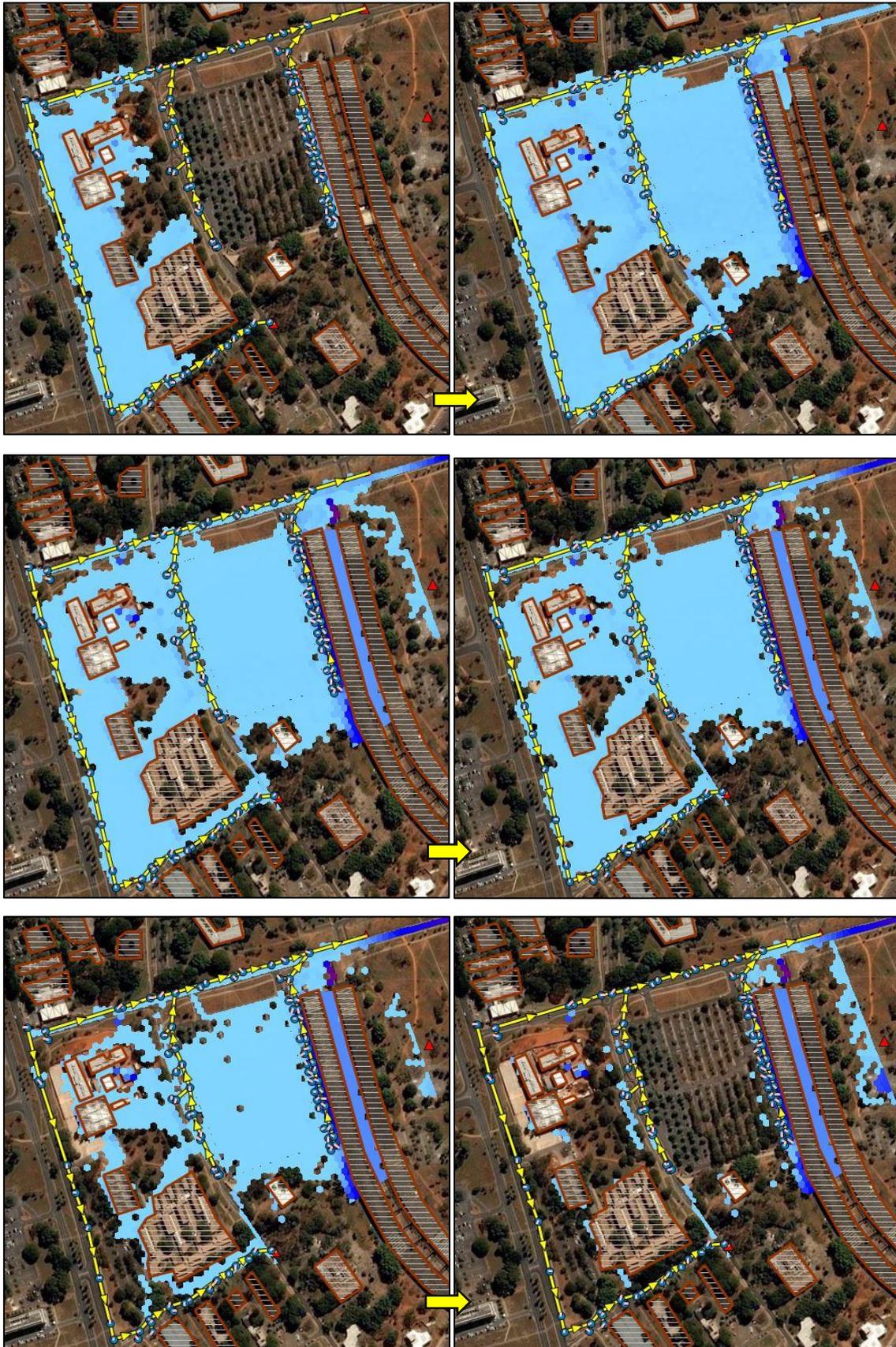


Figura 5.4- Comportamento do escoamento superficial no cenário base às 0h05,0h15, 0h30, 0h35,0h50 e 1h40 com TR = 10 anos.

É possível observar na Figura 5.4 que em um intervalo de 10 minutos a água se espalha em uma ampla área, mostrando que essa chuva gera um escoamento superficial com grande volume e alta velocidade. Os demais fenômenos mais notórios que haviam sido observados para os tempos de retorno de 2 e 5 anos continuaram presentes, porém de uma forma mais intensificada. Também é importante observar que em menos de uma hora após início do escoamento superficial o acúmulo de água se reduz praticamente a zero em toda a área, essa tendência também está presente nas simulações com tempos de retorno menores e manteve-se mesmo com uma chuva tão intensa como a de tempo de retorno de 10 anos.

5.2. CENÁRIO 2: COM VALA EM FRENTE AO ULEG E VALAS NO ICC

No cenário em que há a implantação de uma vala em frente ao ULEG e um conjunto de três valas no estacionamento do ICC Norte também foram feitas simulações para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. A Figura 5.5 mostra as sub-bacias desse cenário.

Para uma chuva de $TR = 2$ anos, verificou-se que o volume total afluente à primeira saída aumentou em 3.98%, isso se deve ao fato de que se direcionou todo o excedente de água da vala do estacionamento para uma sub-bacia que fica a montante dessa saída, dessa forma é coerente que esse valor de vazão aumente em todas as simulações deste cenário.

Já com relação à segunda saída, não foi constatada uma alteração significativa no volume afluente. Esse resultado também é coerente dado que o local de implantação tanto da vala que fica em frente à ULEG quanto da vala do ICC ficam distantes dessa saída, assim esta não sofre uma influência direta das valas. Por isso, essa manutenção nos valores volume também deve ser observada para todas as simulações realizadas neste cenário.

As vazões máximas do escoamento superficial produzido pelas sub-bacias analisadas são apresentadas na Tabela 5.2 para $TRs = 2, 5$ e 10 anos, bem como os respectivos valores no cenário base. Todos os valores referentes a esse cenário são comparados aos valores correspondentes no cenário base e os valores em cor azul tratam-se de reduções, os que estão em amarelo são os que mantiveram o mesmo valor e em vermelho são aumentos

É importante ressaltar que nesse cenário as sub-bacias que foram divididas em duas partes tratam-se das S56, S57, S71, S55 e S7. A Figura 5.6 mostra o comportamento do escoamento superficial nesse cenário com $TR = 2$ anos, enquanto a Figura 5.7 o apresenta com $TR = 5$ anos.

Tabela 5.2 - Escoamento superficial das sub-bacias no cenário 2 com TRs = 2, 5, e 10 anos

Sub-bacia		Vazão Máxima de Escoamento Superficial					
		TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
		Base(m ³ /s)	Valas(%)	Base(m ³ /s)	Valas(%)	Base(m ³ /s)	Valas(%)
S27	S27	0,136	28.40	0,165	28.03	0,191	27.89
S25	S25	0,170	41.68	0,208	41.76	0,241	41.71
S24	S24	0,139	53.35	0,169	52.82	0,196	52.51
S23	S23	0,048	0.00	0,060	0.00	0,069	0.00
S22	S22	0,058	0.00	0,071	0.00	0,083	0.00
S21	S21	0,208	70.00	0,254	69.46	0,294	69.12
S20	S20	0,184	50.05	0,225	49.20	0,261	48.73
S19	S19	0,119	33.95	0,145	32.89	0,168	32.46
S13	S13	0,047	8.59	0,094	8.67	0,117	8.64
S58	S58	0,128	4.77	0,156	4.81	0,180	4.77
S56	S56_2	0,177	15.04	0,215	15.04	0,249	15.02
	S56_3						
S57	S57_2	0,108	13.51	0,132	13.51	0,52	13.48
	S57_3						
S71	S71_1	0,133	2.90	0,162	16.03	0,189	16.04
	S71_2						
S55	S55_1	0,090	18.27	0,110	18.27	0,127	18.29
	S55_2						
S162	S162	0,142	8.83	0,180	8.82	0,215	8.87
S7	S7_1	0,172	13.17	0,215	13.16	0,252	13.20
	S7_2						
S1724	S1724	0,269	1.86	0,340	1.85	0,405	1.88

Verifica-se que a maior parte dos valores reduziram com relação ao cenário base com TR= 2 anos, chegando a resultados até 70% menores, como no caso da sub-bacia S21. As sub-bacias S23 e S22 permaneceram com os mesmos valores de escoamento superficial, mas isso é razoável pois a localização dessas sub-bacias fica a jusante da região de transferência entre a segunda e a terceira vala do estacionamento, a qual se caracteriza por uma curva acentuada, e por isso não promove infiltração de uma grande porção de água devido a suas condições de contorno.

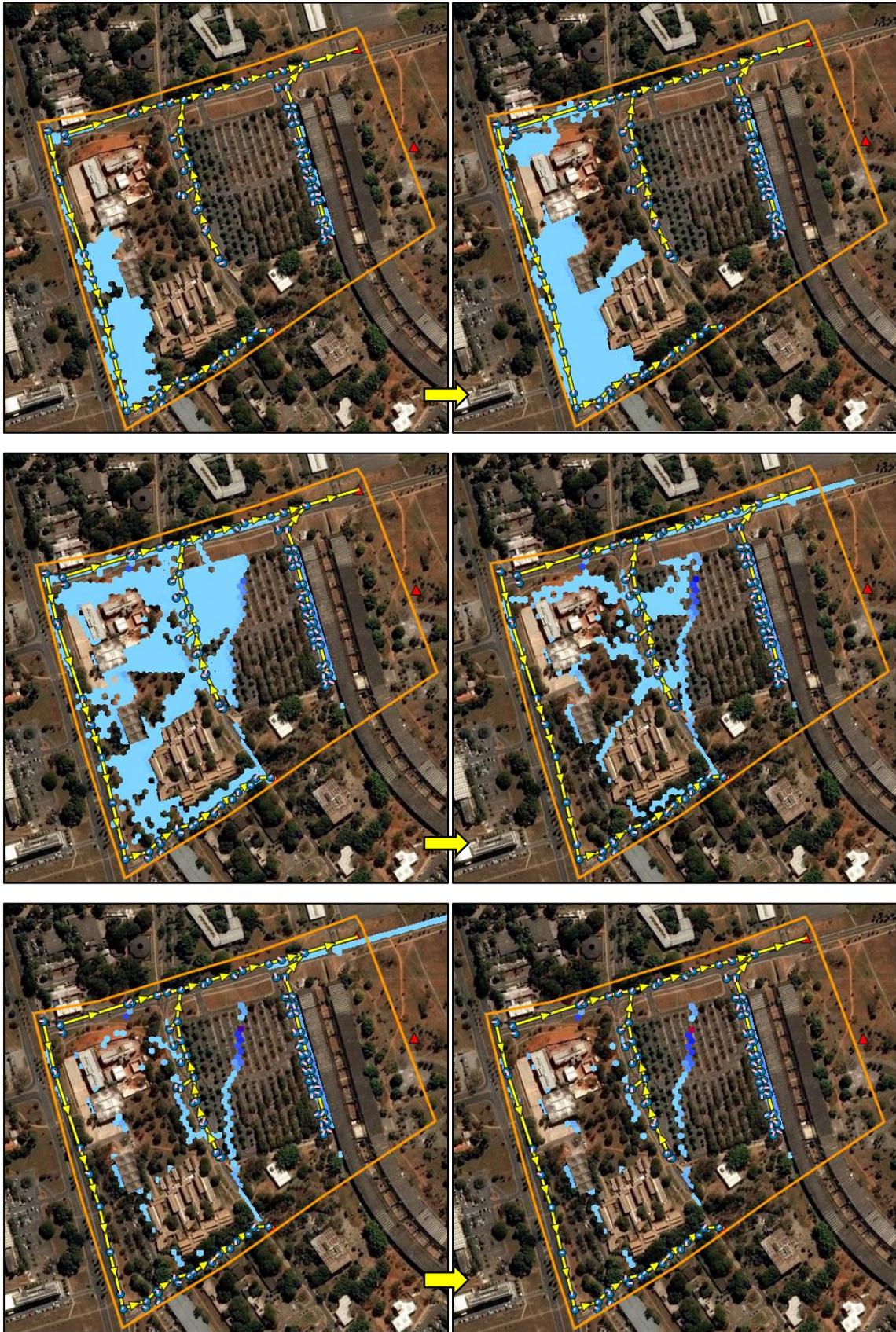


Figura 5.5 - Comportamento do escoamento superficial no cenário 2 às 0h05,0h10, 0h20, 0h35,0h50, 01h 1h40 com TR = 2 anos.

É possível perceber pelas imagens da Figura 5.5 que a estrutura proposta gera um grande impacto no escoamento superficial da área comparando com a evolução do escoamento superficial mostrado na Figura 5.2, que corresponde ao cenário base com chuva de TR = 2 anos. Não é identificado nenhum acúmulo de água expressivo em frente ao prédio do ICC e o acúmulo na frente do prédio da ULEG não é muito intenso. Analisando-se os valores de escoamento encontrados na simulação com TR = 5 anos na Tabela 5.1, percebe-se que a maior parte dos valores também reduziram com relação ao cenário base, e a sub-bacia S21 foi a que apresentou a maior redução, com 69,46%.

As sub-bacias S22 e S23 também mantiveram seus valores de escoamento, as condições de contorno proporcionadas pela curva acentuada presente na estrutura da vala continua sendo o maior indício para esse fato, pois nenhuma alteração foi feita com relação a essa situação. Já a sub-bacia S71 apresentou um ligeiro aumento de 2,90%.

Os valores de volume referentes às duas principais saídas ficaram em torno de 3,89% maior na primeira saída e manteve-se o mesmo para a segunda saída, comparados ao cenário base. O comportamento do escoamento superficial para esta simulação é mostrado na Figura 5.6.



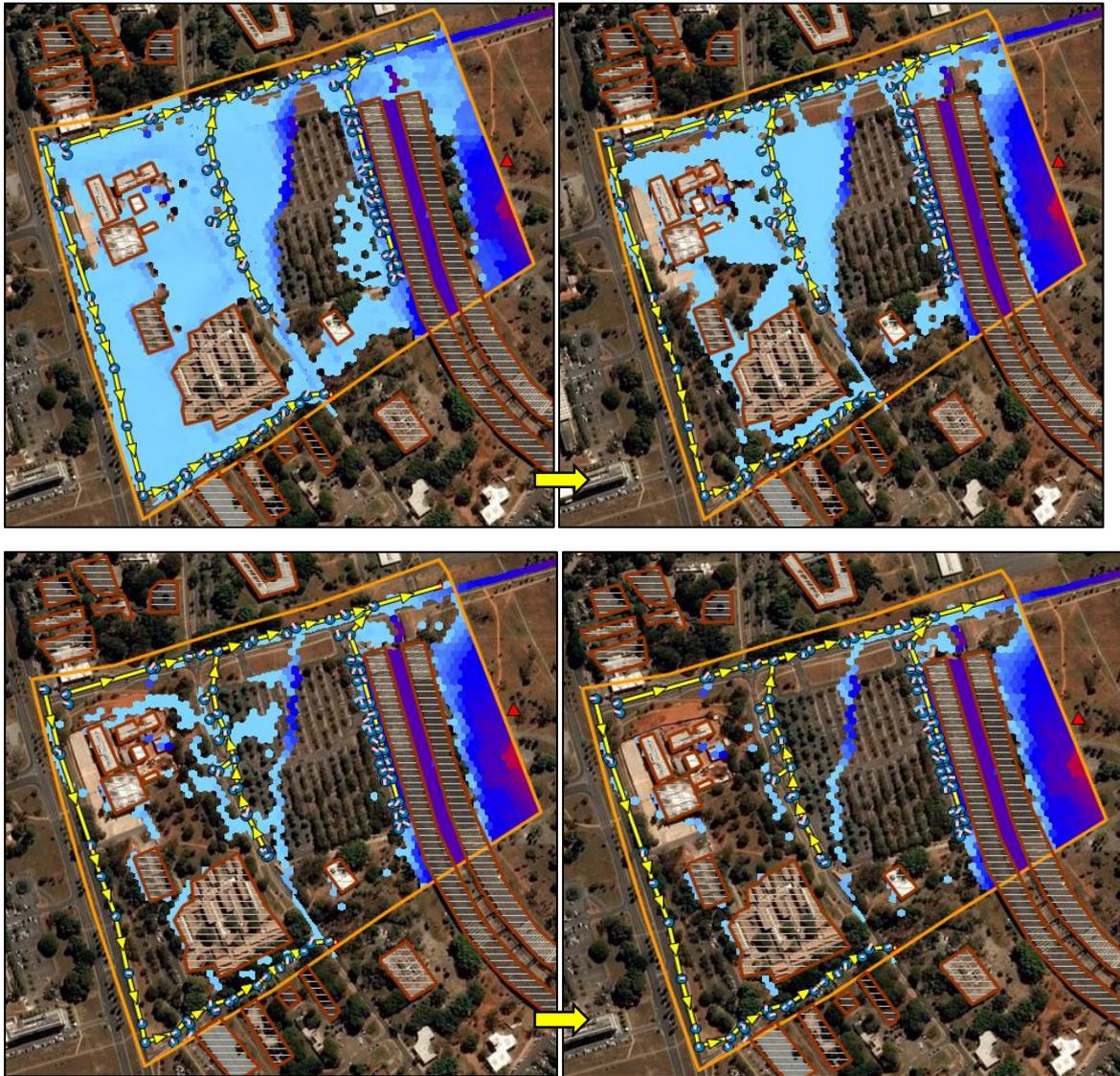


Figura 5.6 - Comportamento do escoamento superficial no cenário 2 às 0h05,0h10, 0h20, 0h35,0h50, 01h 1h40 com TR = 5 anos

Nota-se na Figura 5.6 que, apesar de ainda haver um grande acúmulo de água na fachada do ICC Norte, o escoamento superficial da área do estacionamento é reduzido pela presença das valas, e, conseqüentemente o volume de água que chega até o prédio também é muito menor. Esse acúmulo conta com a contribuição do escoamento superficial advindo da região do que fica mais ao norte já citada, porém a água acumulada também se deve à própria elevação do terreno nesse local, que trata-se de uma rampa. Dessa forma, toda a água precipitada nesse local tende a acumular-se naturalmente. O acúmulo observado em frente ao prédio do ULEG é reduzido, porém ainda observa-se um acúmulo significativo em frente ao prédio. Seguindo a mesma tendência apresentada nas simulações anteriores, para um TR = 10 anos a maior parte dos valores de escoamento superficial analisados diminuiu com relação ao

cenário base com o mesmo tempo de retorno. As reduções chegaram a 69,12%, essa porcentagem máxima também corresponde à sub-bacia S21.

Os valores de volume que chegam às principais saídas da rede foram indicaram um aumento de 3,46% na primeira saída e na segunda saída não houve mudança significativa no valor. A Figura 5.8 mostra o escoamento superficial na área na simulação com TR = 10 anos.

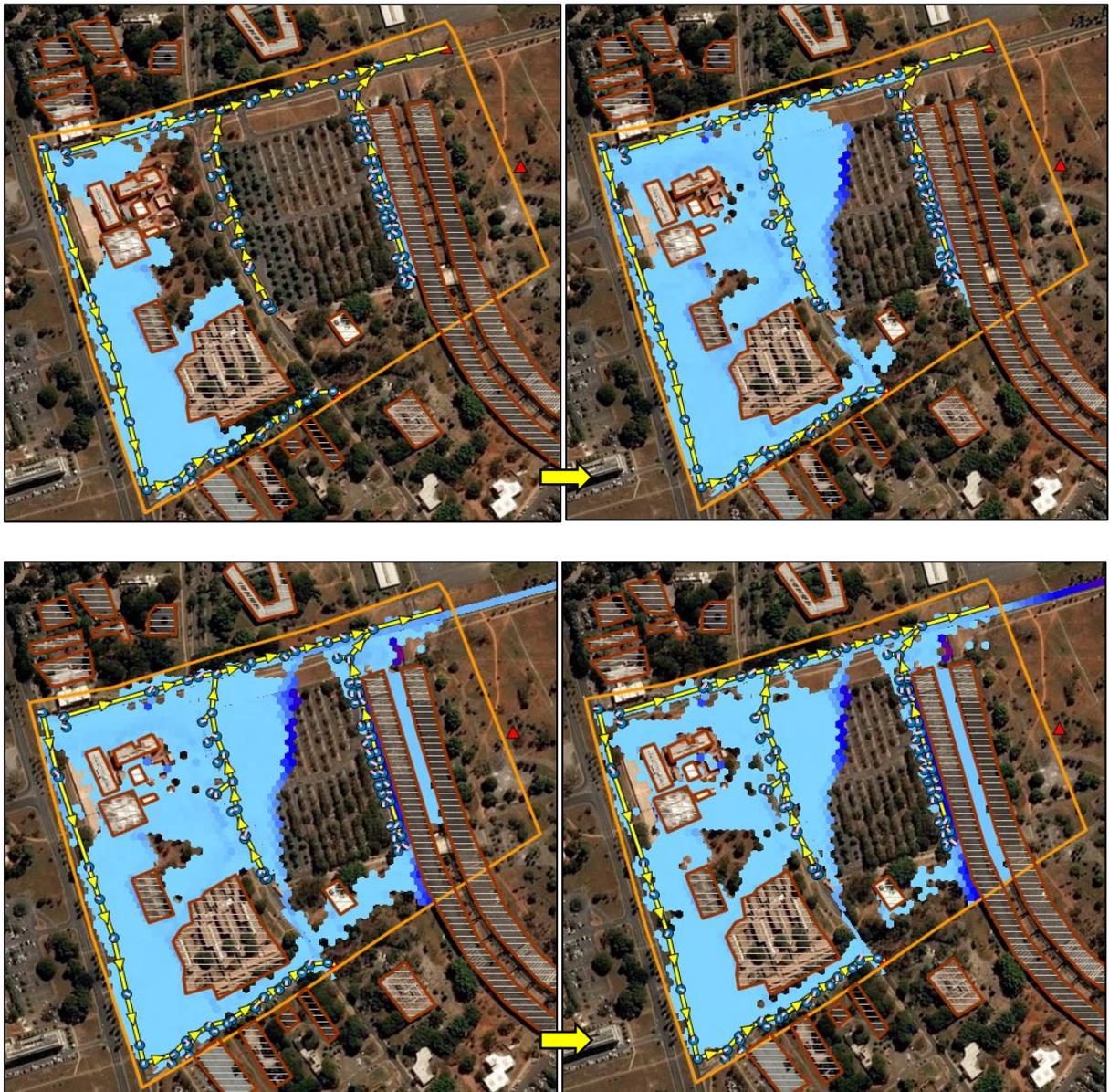




Figura 5.7- Comportamento do escoamento superficial no cenário 2 às 0h05,0h10, 0h20, 0h35,0h50, 01h 1h40 com TR = 10 anos.

Além das sub-bacias S22 e S23, que já mantinham seus valores de escoamento, a sub-bacia S1724 também permaneceu com resultados praticamente iguais. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de que apenas essa sub-bacia não possui uma influência muito grande da vala de infiltração pois apenas uma pequena porção da vala encontra-se na área da S1724, dessa forma não foram encontrados percentuais de reduções de escoamento superficial expressivos.

As mesmas observações feitas para os tempos de retorno de 2 e 5 anos são verificadas na Figura 5.8, as diferenças consistem no acúmulo de água que é um pouco maior e em um espaço de tempo mais curto, como na simulação com TR= 5 anos.

Essa manutenção de tendências desde a primeira simulação neste cenário reafirma o bom funcionamento e a resiliência da solução proposta, pois mesmo com aumentos consideráveis nos tempos de retorno, os acúmulos seguem diminuindo com relação aos seus cenários base correspondentes, até mesmo para uma chuva tão intensa como a de TR= 10 anos. No entanto, ainda é possível observar acúmulos consideráveis de água em frente ao ICC Norte, e principalmente em frente à ULEG, portanto verifica-se que, apesar de muito eficiente, essa proposta não é suficiente para resolver por completo os problemas de drenagem identificados na ala norte do campus.

5.3. CENÁRIO 3: COM VALA DE INFILTRAÇÃO EM FRENTE À ULEG E MODIFICAÇÃO DE UMA LOMBADA ACOMPANHADA DE CALHA

Neste cenário também foram feitas simulações considerando chuvas com tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. A única sub-bacia em análise que foi dividida em duas foi a S7. A Tabela 5.3 mostra os valores de vazão máxima do escoamento superficial das sub-bacias de interesse nesse cenário bem como os valores encontrados no cenário base. Os percentuais seguem tendo como referência o cenário base.

Tabela 5.3– Vazão máxima das sub-bacias no cenário 3 com TR = 2, 5, e 10 anos.

Sub-bacia		Vazão Máxima de Escoamento Superficial (m ³ /s)					
		TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
		Base	Cenário 3 (%)	Base	Cenário 3 (%)	Base	Cenário 3 (%)
S162	S162	0,142	6,01	0,180	5,56	0,215	5,76
S7	S7_1	0,172	0,67	0,215	10,02	0,252	10,03
	S7_2						
S1724	S1724	0,269	9,94	0,340	0,71	0,405	0,74

Analisando-se a tabela é possível perceber que nesse cenário todos os valores reduziram com relação ao cenário base, porém as reduções não foram tão expressivas como no cenário anterior, o maior percentual de redução atingido foi de apenas 10,03% e corresponde à redução da sub-bacia S7.

Para TR= 2 anos, os volumes totais que chegaram às duas principais saídas da rede foram 1,10% menor na primeira saída e manteve-se o mesmo na segunda saída. Esse resultado mostra que, além de melhorar localmente a situação do escoamento superficial, a vala também pode influenciar na carga que chega às saídas da rede, mesmo estando relativamente distante.

Já a segunda saída, não é influenciada diretamente pelos dispositivos implantados nesse cenário também. A Figura 5.8 mostra o comportamento do escoamento superficial desse cenário com uma chuva de TR = 2 anos.

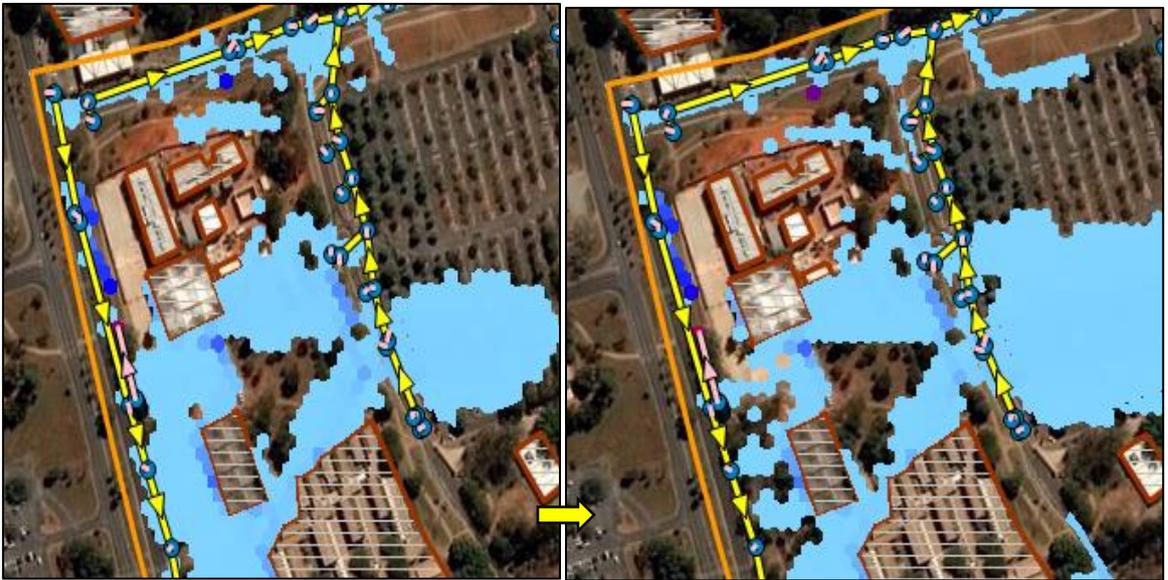
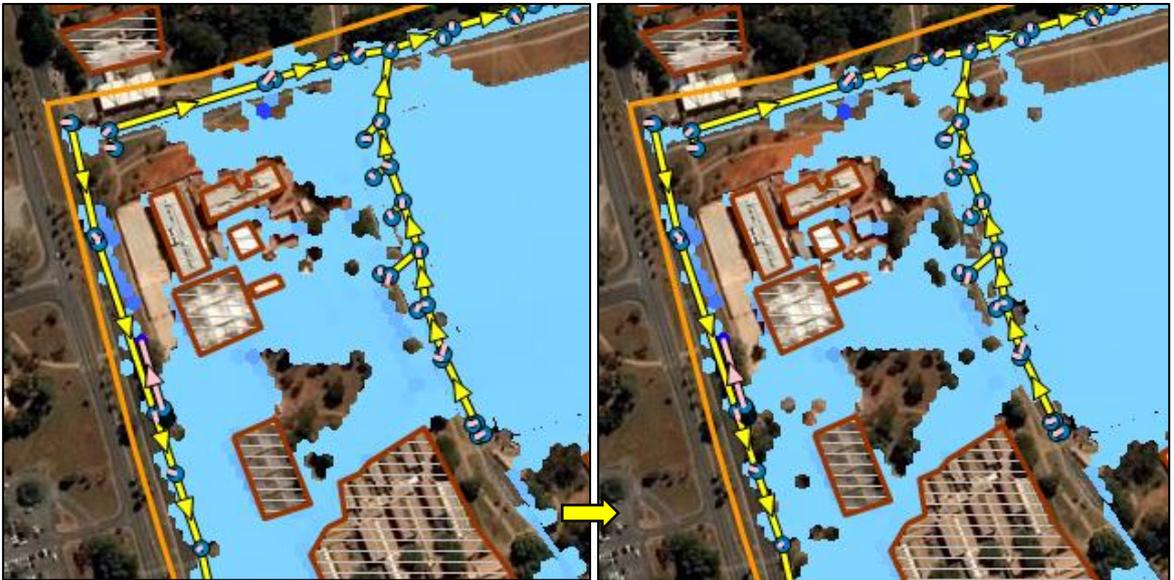




Figura 5.8- Comportamento do escoamento superficial no cenário 3 às 00h05, 0h15, 0h20, 0h25, 0h30, 1h40 com TR = 2 anos.

É possível perceber na Figura 5.8 que o acúmulo de água em frente à ULEG diminuiu consideravelmente devido à presença da vala, porém o escoamento que deveria ser retido pelo aumento de 15 cm na altura da lombada não é transferido de forma eficiente pela calha, pois o maior valor de fluxo encontrado na calha foi de apenas 0,013 m³/s. Esse resultado referente à vazão máxima encontrada na calha deve seguir a mesma tendência nas demais simulações deste cenário, pois a estrutura da calha e da lombada serão mantidas e os tempos de retorno serão maiores.

Como o foco de análise desse cenário é justamente essa região do prédio da ULEG e as proximidades da entrada do estacionamento da FT, foi implantada apenas essa vala no canteiro. Com relação aos valores de escoamento para TR = 5 anos, verifica-se que os valores de escoamento tiveram reduções, mas ainda não muito significativas, com valor máximo de 10,02% referente também à sub-bacia S7. Os volumes que chegam às saídas principais da rede não tiveram modificações significativas nesta simulação, com alterações inferiores a 1%.



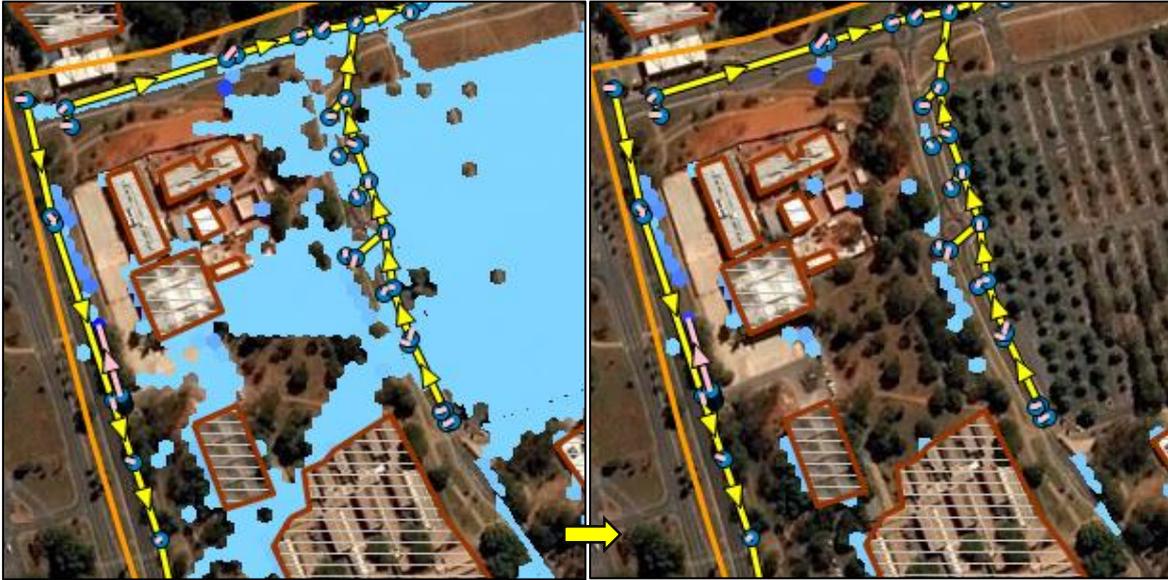


Figura 5.9- Comportamento do escoamento superficial no cenário3 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 5 anos.

A Figura 5.9 mostra o escoamento superficial com TR de 5 anos. Avaliando as imagens, é possível constatar que a implantação da vaga segue amenizando bastante o acúmulo de água em frente à ULEG, mas a presença da calha e da lombada não interferem de modo perceptível no padrão de acúmulo e a maior vazão transferida da calha para a vaga da ULEG foi de apenas $0,035\text{m}^3/\text{s}$, o que indica que essa estrutura não é eficaz para os fins que se deseja.

Nota-se que os resultados encontrados para o escoamento superficial das sub-bacias com uma chuva de TR = 10 anos (Tabela 5.3) mostram que também houve reduções nos valores de escoamento, mas que essas reduções também não foram significativas, o maior percentual alcançado não passou de 10,03%, correspondente também à sub-bacia S7. A Figura 5.11 apresenta o escoamento na área com a chuva de 10 anos.

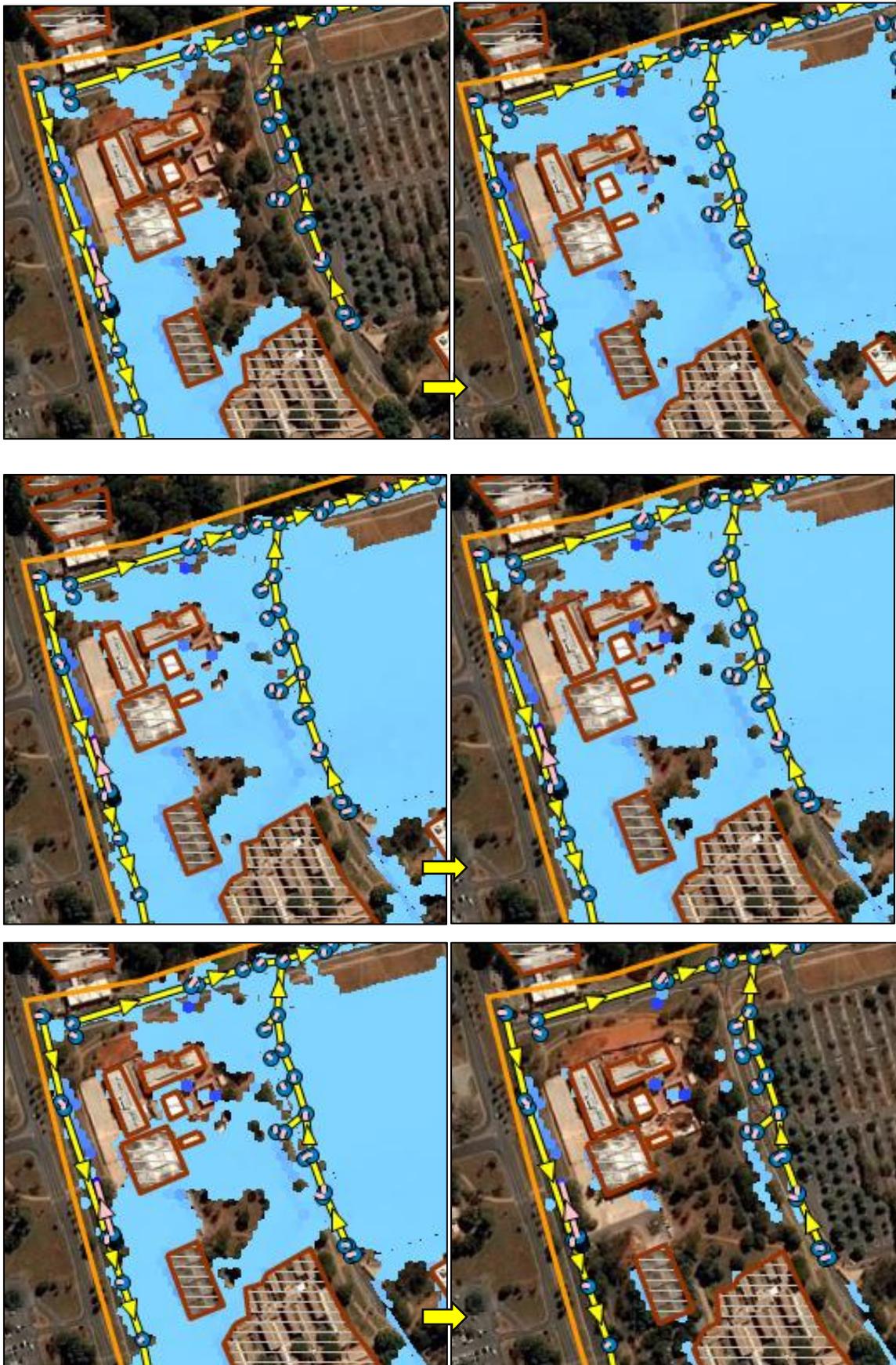


Figura 5.10 - Comportamento do escoamento superficial no 3 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 10 anos.

É possível observar novamente na Figura 5.10 as tendências apresentadas nos resultados das simulações anteriores, a vala de infiltração diminui consideravelmente o acúmulo de água em frente ao prédio, mas o escoamento superficial não sofre modificações visualmente perceptíveis na área de implantação da calha e do aumento de altura da lombada.

Dessa forma, pode-se verificar que a proposta desse cenário não transfere uma vazão satisfatória para a vala de infiltração por meio da calha, isso é evidenciado pelo valor máximo de vazão encontrado na calha, que não passou de 0,05 m³/s.

Assim, a causa mais provável da ineficiência dessa estrutura são as dimensões da calha (28 cm x 15 cm), que são muito pequenas para realizar a transferência de carga que esse cenário necessitava. O aumento na altura da lombada também pode não ter sido suficiente para reter a água que deveria ser coletada pela calha.

5.4. CENÁRIO 4: COM QUATRO VALAS EM FRENTE AO ULEG E MODIFICAÇÃO DE UMA LOMBADA ACOMPANHADA DE UMA CALHA

A área de análise deste também é mais restrita, correspondendo ao prédio da ULEG e suas proximidades. A diferença entre esse e o cenário anterior é que no lugar da vala no canteiro da ULEG foram implantadas quatro valas que recebem a água canalizada pela mesma calha e pela lombada a qual foram acrescidos 15 cm em sua altura. As análises foram feitas não apenas com relação ao cenário base, mas também em relação ao cenário anterior a fim de comparar a eficácia desses dois cenários

Nesse cenário não houve divisão das sub-bacias. Os resultados referentes ao escoamento superficial das sub-bacias analisadas com uma chuva de TR= 2 anos, bem como os valores encontrados nos cenários anteriores para esse mesmo tempo de retorno são apresentados na Tabela 5.4, os percentuais são referentes ao cenário base, assim a cor azul indica redução. Ainda, a Figura 5.12 mostra o comportamento do escoamento nessa simulação.

Tabela 5.4 - Vazão máxima das sub-bacias no cenário 4 com TR = 2 anos.

Sub-bacia		Vazão Máxima de Escoamento Superficial (m ³ /s)		
		TR = 2 anos		
		Base	Cenário 3 (%)	Cenário 4 (%)
S162	S162	0,142	8.83	4.81
S7	S7_1	0,172	13.17	86.66
	S7_2			
S1724	S1724	0,269	1.86	3.12

É possível verificar na Tabela 5.4 que todos os valores de escoamento diminuíram com relação à base. Tomando como referência ao cenário anterior, o escoamento da sub-bacia S162 teve uma redução menor, e a S1724 teve uma redução maior. Porém, para sub-bacia S7 obteve-se uma redução muito significativa, tanto com relação ao cenário base com 86,66% de redução, quanto com o cenário anterior com 73,50% de redução a mais. Esse resultado pode ser explicado pela grande porção da sub-bacia S7 que foi transformada em vala nesse cenário.

Os valores de volumes afluentes às duas principais saídas da rede foram 5,84% menor na primeira saída e na segunda saída não houve uma modificação significativa, tomando como referência o cenário base. Assim, no que diz respeito à redução dos volumes de água nas saídas, esse resultado mostra uma eficiência semelhante à encontrada no cenário anterior.



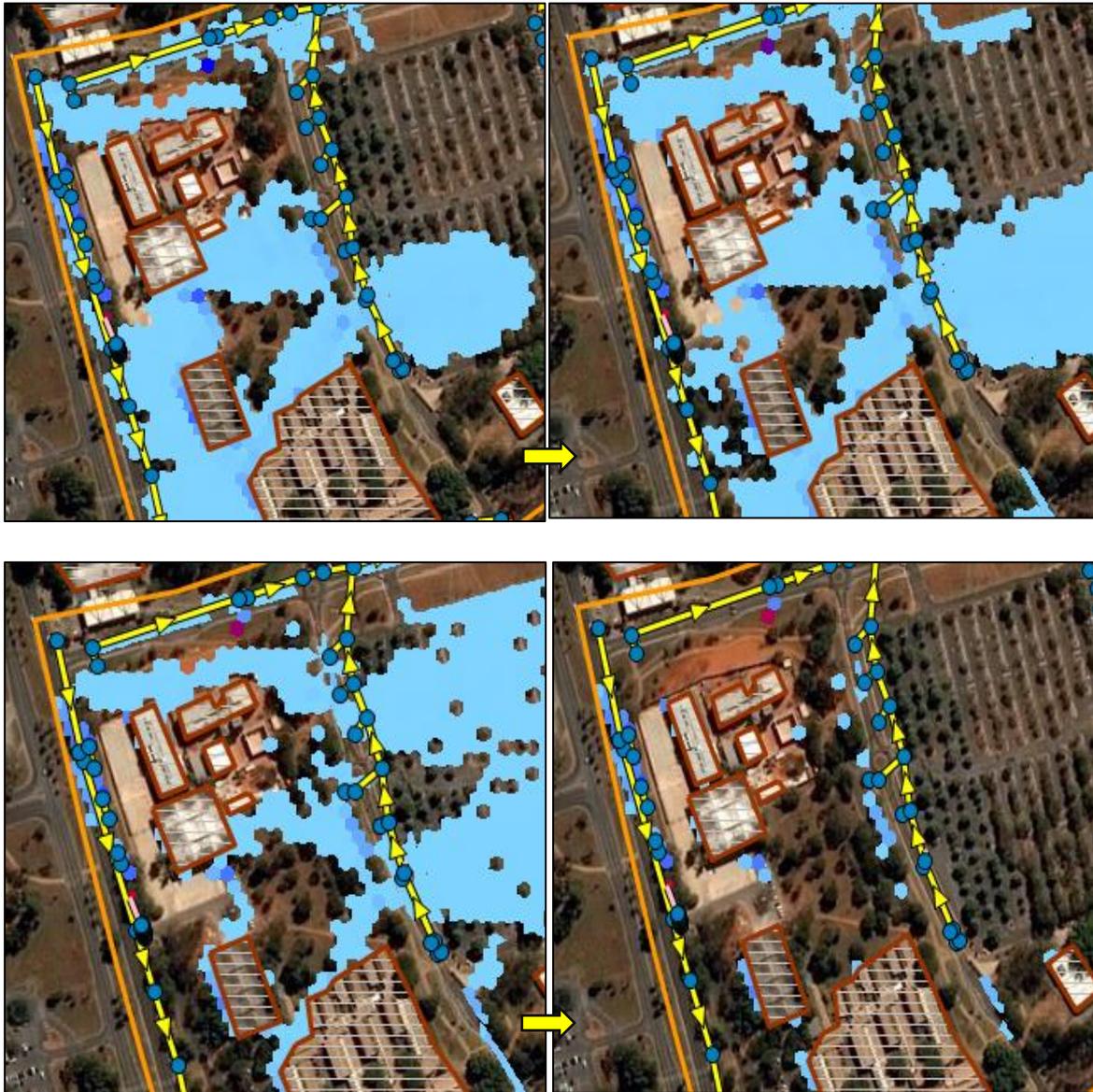


Figura 5.11- Comportamento do escoamento superficial no cenário 4 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 TR = 2 anos

Apesar do resultado positivo com relação à redução do escoamento superficial produzido pela sub-bacia S7, nota-se na Figura 5.12 que o escoamento superficial na área continua muito intenso e que ainda há um grande acúmulo de água nas áreas em que se deseja mitigar os alagamentos. A presença das valas de infiltração reduziram consideravelmente o acúmulo de água no prédio da ULEG, porém o acúmulo permanece muito intenso na região de instalação do conjunto calha-lomabada. Além disso, a vazão máxima na calha não passa de $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$, o que indica que essa estrutura não está sendo eficaz na canalização de água para a vala de infiltração.

Os valores encontrados na simulação com uma chuva de TR= 5 anos, bem como os valores encontrados nos cenários anteriores para esse mesmo tempo de retorno são apresentados na

Tabela 5.5. Os percentuais aqui também são referentes ao cenário base, dessa forma os valores em azul indicam redução.

Tabela 5.5 - Vazão máxima das sub-bacias no cenário 4 com TR = 5 anos.

Sub-bacia		Vazão Máxima de Escoamento Superficial		
		TR = 5 anos		
		Base	Cenário 3 (%)	Cenário 4 (%)
S162	S162	0,180	8.82	5.11
S7	S7_1	0,215	13.16	86.48
	S7_2			
S1724	S1724	0,340	1.85	3.06

Verifica-se que todos os valores de escoamento superficial das sub-bacia reduzem com relação à base. Na comparação entre esses resultados com os resultados do cenário anterior, nota-se que para a sub-bacia S162 a redução foi menor e para a sub-bacia S1724 a redução foi maior, porém as reduções continuam pequenas.

Já para a sub-bacia S7, observa-se, como na simulação para TR = 2, uma redução muito significativa com relação ao cenário base, de 86,48%. O percentual em relação ao cenário anterior foi 73,32% maior. Comparando ao cenário base, os valores de volume primeira saída principal foi 4,85% menor e a segunda saída não sofreu alteração significativa, menor que 1%. Esse resultado segue a mesma tendência da simulação com chuva de TR = 2 anos neste cenário. A Figura 5.13 mostra a evolução do escoamento superficial correspondente a esta simulação.



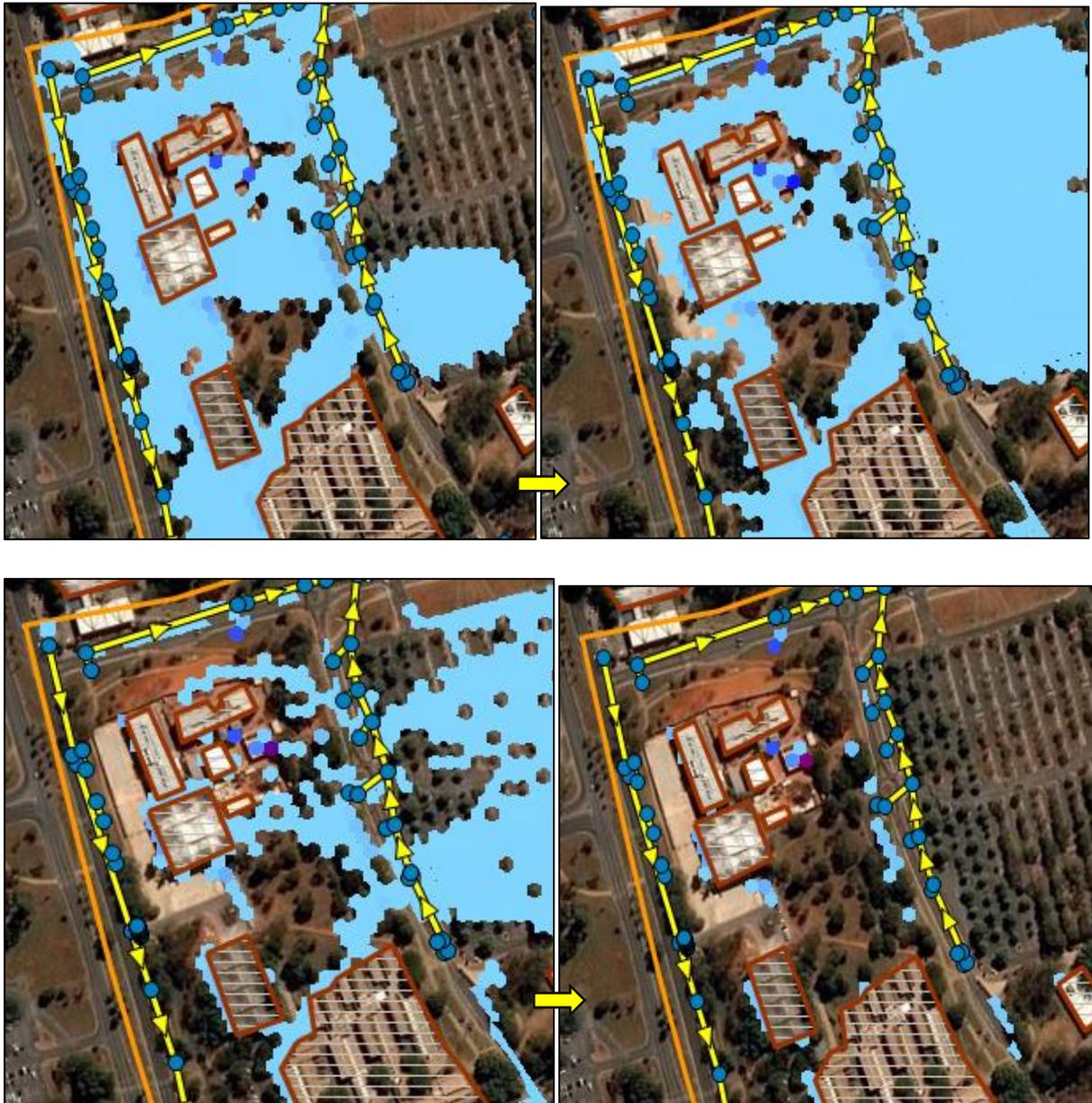


Figura 5.12- Comportamento do escoamento superficial no cenário 4 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 5 anos.

A Figura 5.12 mostra o mesmo que foi indicado pela simulação anterior, porém com acúmulos maiores devido ao tempo de retorno da chuva que é maior. A vazão máxima na calha foi de apenas 0,08 m³/s, que indica mais uma vez que essa estrutura não está sendo eficaz na canalização de parte do escoamento superficial para a vala.

Os valores máximos de vazão para as sub-bacias de interesse na simulação com TR de 10 anos estão apresentados na Tabela 5.6 abaixo, os percentuais permanecem em relação ao cenário base e a cor azul indica redução.

Tabela 5.6 - Valores de escoamento superficial das sub-bacias no cenário 4 com TR = 10 anos

Sub-bacia		Vazão Máxima de Escoamento Superficial (m ³ /s)		
		TR = 10 anos		
		Base	Cenário 3 (%)	Cenário 4 (%)
S162	S162	0,215	8.87	4.83
S7	S7_1	0,252	13.20	86.67
	S7_2			
S1724	S1724	0,405	1.88	3.11

Seguindo a tendência apresentada por todas as simulações executadas nesse cenário, os resultados do escoamento superficial atribuindo chuva de TR = 10 anos às sub-bacias mostram uma redução em comparação ao cenário base. Já com relação ao cenário anterior, a sub-bacia S162 teve uma redução menor, e a S1724 reduziu mais. Com relação à sub-bacia S7 observou-se novamente um alto percentual de redução, de 86,67% em relação ao cenário base e de 73,47% de redução a mais com relação ao cenário anterior.

O valor de volume nas duas principais saídas da rede para essa simulação foram 5,10% menor na primeira saída e 1,04% maior na segunda saída. Não se sabe o motivo desse aumento na segunda saída, isso pode se dar em função de diferentes comportamentos do escoamento superficial com uma chuva intensa como a de TR= 10 anos. Na figura 5.13 são apresentadas imagens que mostram o comportamento do escoamento superficial para 10 anos de tempos de retorno.

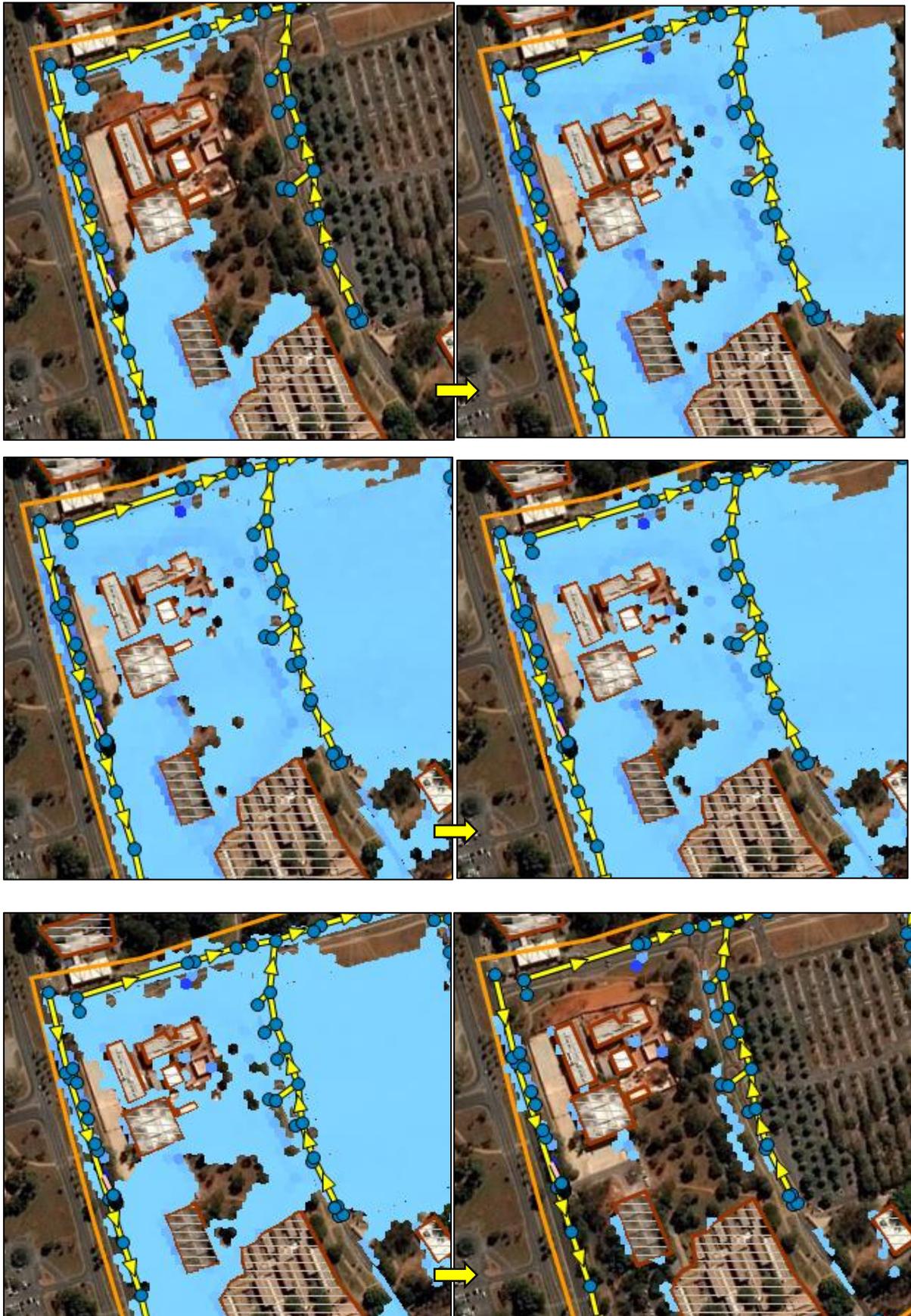


Figura 5.13- Comportamento do escoamento superficial no cenário 4 às 0h05,0h10, 0h15, 0h20,0h30,1h40 com TR = 10 anos.

O comportamento do escoamento superficial mostra novamente que as reduções obtidas não impactaram muito o acúmulo de água que desejava-se mitigar. A vazão máxima na calha não passou de 0,09 m³/s, o que indica mais uma vez que a calha não tem um bom desempenho na canalização de água para a vala de infiltração.

Assim, mesmo que essa estrutura se mostre mais eficaz que a estrutura do cenário anterior, o comportamento do escoamento superficial atesta que a solução não é adequada, pois não observa-se impactos visuais e reduções de escoamento significativos. Essa ineficiência do sistema proposto pode ter suas causas apontadas como os mesmos motivos apontados nas conclusões referentes ao cenário 3, as dimensões da calha podem não ter sido suficientes para suportar o grande volume de escoamento superficial e o acréscimo de altura na lombada pode não ser suficiente para reter a água que seria transferida para a vala por meio da calha.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste estudo foi possível concluir que para solucionar por completo os problemas que a região da Faculdade de Tecnologia e a ala norte do Instituto Central de Ciências da UnB enfrentam com relação a alagamentos, é necessário que se trabalhe com múltiplas barreiras, pois alcançou-se resultados muito satisfatórios na redução do escoamento superficial da área e nos padrões de acúmulo de água, porém também foi possível verificar que a aplicação isolada das medidas que se propõem neste trabalho ainda não é suficiente para solucionar os problemas acarretados pelo acúmulo de águas pluviais que se tem na área.

Nas simulações referentes ao cenário base foi possível verificar que todo o escoamento superficial que é produzido a montante da FT e posto de gasolina desce em direção ao ICC norte provocando o acúmulo de água responsável pelos alagamentos frequentes. Esses eventos ocorrem em chuvas muito intensas, como a de tempo de retorno de 10 anos, mas por meio das simulações foi possível verificar que esse excesso de água o qual a rede de drenagem não consegue absorver já é identificado para chuvas com tempo de retorno de 2 anos.

Os resultados relacionados ao cenário em que foram implantadas uma estrutura de três valas em série no estacionamento do ICC norte e uma vala no canteiro da ULEG foram muito positivos, pois mostram uma redução do acúmulo de água na frente do ICC e na entrada da ULEG, edificações as quais se pretendia evitar que continuassem sendo alagadas.

No entanto, como o Instituto Central de Ciências localiza-se paralelo às curvas de nível e em frente à sua fachada existe uma área rebaixada, o acúmulo de água acontece de uma forma natural sempre que a água ultrapassa o nível da calçada em frente ao prédio e é agravado quando esse excesso de água é muito grande e não é absorvido pelo sistema de drenagem existente no fosso.

Dessa forma, também foi possível notar nas simulações que, mesmo com a implementação das valas no estacionamento pode ocorrer um acúmulo de água significativo no local. Portanto, a implantação dessa estrutura apresentada no segundo cenário ainda não é suficiente para resolver de fato todo o problema, sendo necessário que se trabalhe com outras propostas de intervenção de forma integrada e sustentável. Algumas soluções integradas à construção das valas do estacionamento podem ajudar a minimizar o problema, Uma medida seria a elevação dos meio-fios da via entre a FT e ICC Norte, pelo lado da via com cota mais

baixa, de modo que a água que eventualmente atravessasse a FT não seja encaminhada diretamente para a frente do ICC e sim para a vala do estacionamento. Outra medida seria a construção de um rebaixamento do gramado entre o estacionamento do ICC norte e a via lateral para criação de uma bacia de retenção temporária (dotada de bocas de lobo que seriam descarregadas na galeria existente do outro lado da via).

Já no cenário em que foi simulada a implantação de apenas uma vala em frente à ULEG acompanhada pela estrutura de uma calha junto a um quebra-molas, ao qual foram acrescidos 15 cm à sua altura, foi possível concluir que a estrutura por si só não é eficaz em nenhum dos seus objetivos, pois o acúmulo de água na entrada do prédio permaneceu muito alto e a combinação entre o quebra-molas modificado e a calha não foi capaz de canalizar a água para a vala de infiltração de forma significativa.

Por fim, foi verificado que a mesma estrutura simulada nesse último cenário, com a alteração da implantação de quatro ao invés de uma vala no canteiro da ULEG também não foi eficiente na mitigação dos alagamentos do prédio, esse cenário foi proposto pois a estrutura simulada foi desenhada observando a localização de postes de energia, passagens de pedestre e árvores, de forma a minimizar as modificações que teriam de ser feitas com as LIDs. Foi observado um melhor desempenho comparado ao cenário anterior, mas ainda insuficiente.

Para a realização do trabalho, enfrentaram-se dificuldades com relação ao acesso a informações confiáveis referentes ao sistema de drenagem da região, É necessário também que os órgãos públicos responsáveis pela drenagem urbana se atentem para a necessidade de um cadastramento eficaz do sistema de drenagem como um todo, pois essa dificuldade com relação à base de dados é comum a outras regiões além do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

Ainda sobre as soluções de baixo impacto, este trabalho mostra que esses tipos de dispositivo podem ser versáteis por serem adaptáveis a diferentes realidades. São dispositivos que tem de ser pensados a partir de uma visão holística e a destinação de área para implantação das LIDs também deve ser proporcional à área a qual se pretende melhorar o padrão de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bai, Y.; Zhao, N.; Zhang, R.; Zeng, X.(2018).“Storm Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM”, *Water*, 11(1), 33-48.
- Baptista MB.; Nascimento N.; Barraud S.(2011). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Ed 2, ABRH, Porto Alegre.
- BRASIL. (2012). Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União. Brasília, 28 de maio de 2012.
- CAMARA, T. R. (2016). *Análise de susceptibilidade a alagamentos na bacia do Lago Paranoá antes e depois da construção do setor noroeste - Distrito Federal por meio de Sistemas de Informação Geográfica-SIG*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento Ambiental), Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Brasília, DF, 15p.
- Carvalho, D. J. (2018).*Manejo de Águas Pluviais Urbanas em Diferentes Projetos Urbanísticos e com Soluções de Baixo Impacto para a Área Residencial – Taquari - DF* Monografia de Projeto Final 2 em Engenharia Ambiental, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 89p.
- Codeplan – Companhia de planejamento do Distrito Federal.(2016) Pesquisa Distrital por Amostragem de Domicílios – PDAD.
- Collishonm W., Dornelles F.(2013) *Hidrologia Para Engenharia e Ciências Ambientais*. Ed 1, ABRH, Porto Alegre.
- Costa, M. E. L. (2013). *Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental , Brasília, DF, 179p.
- Cruz, M.A.S.; Araújo, P.R.; Agra, S.G.; Souza, V.C.B,De.; Collishonm, W.(2001) “Valorização da água no meio urbano: um desafio possível.” *XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Aracaju.
- Cruz, M.A.S.; Souza, C.F.; Tucci, C.E.M.(2007) “Controle da Drenagem Urbana no Brasil: Avanços e Mecanismos para sua Sustentabilidade.” *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo.
- Da Silva, F. A.e Lima, L. D. (2016). *O impacto de novos loteamentos urbanos no escoamento superficial – Setor Habitacional Noroeste*. Monografia de Projeto Final 2 em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 101p.

Debo, TN, Reese AJ.(2003). Municipal Stormwater Management. Ed. 2, Lewis Publishers, United States of America.

Embrapa – Empresa brasileira de Pesquisas Agropecuárias .(2004). Mapa Pedológico Digital - SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Planaltina.

Ferrante, J.E.T.; Rancan, L.; Netto, B., P. Meio físico. In: Fonseca, F.O.(2001). Olhares sobre o lago Paranoá. Brasília, DF: GDF/SEMARH, 2001

Ferreira, E. C. (2017). *Modelagem computacional com aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo Impacto na bacia urbana no riacho Moxotó na cidade de Recife-PE*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Recife, PE.

GDF - Governo do Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras. (2009). Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal. Volume 5.

Liu, Y.; Ahiablame ML.; Bralts FV.; Engel AB.(2015) Enhancing a rainfall-runoff model to assess the impacts of BMPs and LID practices on storm runoff. *Journal Of Environmental Management*, **147**(1), 12-23.

Lucas, A. H. (2011). *Monitoramento e modelagem de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração em escala real*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, SP.

Pontes, P.M.R ; Collishonm, W ; Fan, F.M; Paiva, R.D.C; Buarque, D.C.(2015) Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **20**(4), 888-904.

Righetto, A.M.; Moreira, L.F.F.; Sales, T.E.A. “Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Manejo de águas pluviais urbanas. ABES, 2009.

Rihetto AM, Gomes KM, Freitas FRS.(2017). “Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana”, *Eng Sanit Ambient*, ABES, **22**(6).

Rossmann, L. A.(2015). Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1. Cincinnati (EUA): USEPA (United States Environment Protection Agency), 2015.

Schueler,T.(1997). Influence of Ground Water on Performance of Stormwater Ponds in in Florida. *Watershed Protection Techniques*

Silveira, André A.LLuiz L.opes.(2018).“da. Trama verde-azul e drenagem urbana sustentável.” In: *LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo (Org.) Planejamento e gestão territorial: a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos. Criciúma, SC: EDIUNESC, 2018. Cap. 3.*

- Souza, C.F.; Cruz, M.A.S.; Tucci, C.E.M.(2012). “Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas..” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. **17**, n.(2), p. 9–18, 2012.
- Souza, V.C.B.de. (2013). “Gestão da drenagem urbana no: Desafios para a sustentabilidade.” (2013).*Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, **1**(1), 58-72.
- Souza, F. P. (2014). *Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do lago Paranoá-Brasília/DF-e avaliação de bacia de retenção*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Tavanti, D.R.; Barbassa, A.P.(2012). “Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **17**(4), 17-21.
- Tsuji, T.M. (2018) *Monitoramento e modelagem das águas das águas de drenagem pluvial no núcleo urbano da bacia do ribeirão Riacho Fundo, Brasília - DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Tucci C.E.M, Mendes C.A.(2006). Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica. Brasília: MMA.
- Tucci C.E.M.(1997). *Água no Meio Urbano*. UFRGS
- Tucci, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4 ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2007.
- Tucci, C.E.M.(2005). Modelos hidrológicos. ABRH, Porto Alegre-RS
- Woods-Ballard, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Asheley, R.; Kellagher, R.(2015). The SUDS manual. Londres (Inglaterra),: CIRIA, 2015..
- XIE, J.; Wu, C.; Li, H.; Chen, G.(2017). “ Study on Storm-Water Management of Grassed Swales and Permeable Pavement Based on SWMM.” *Water*, **9**(11), 9-12.
- YU, S.Shaw L.;Kuo, J.T;Fassman, E.A; Pan, H.(2001). et al. “Field Test of Grassed-Swale Performance in Removing Runoff Pollution.” *Water Resources Planning And Management*, **127**(3), 168-171.
- Zahmatkesh, Z.; Burian, S.T.; Karamouz, M.; Davani, H.T.; Goharian, E.(2015). “Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff: Case Study of New York City.” *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, **41**(1), 1-13.