

AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA  
A DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMPUS  
DA UFSC

João Victor Galvane

Florianópolis, 2018





João Victor Galvane

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A DRENAGEM DE  
ÁGUA PLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA  
UFSC**

Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para  
Conclusão da Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientadora: Profa. Dra. Patrícia  
Kazue Uda

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Galvane, João Victor  
AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A DRENAGEM DE  
ÁGUA PLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA  
UFSC / João Victor Galvane ; orientadora, Patrícia  
Kazue Uda , 2018.  
126 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, , Graduação  
em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis,  
2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.  
Engenharia Sanitária e Ambiental. 3. Técnicas de  
Drenagem Sustentável. 4. SWMM. 5. Escoamento  
Superficial. I. , Patrícia Kazue Uda. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

João Victor Galvane

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A DRENAGEM DE  
ÁGUA PLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA  
UFSC**


Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II.

Florianópolis, novembro de 2018.

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Patrícia Kazue Uda, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Alexandra Finotti, Dr.<sup>a</sup>

  
\_\_\_\_\_  
Fabiane Andressa Tasca, M.<sup>a</sup>.

Este trabalho é dedicado à minha família, a  
mim e à chuva.

## AGRADECIMENTOS

Mais uma etapa de minha vida chega ao fim. Esses quase seis anos de graduação só foram possíveis graças ao apoio incondicional de minha querida família, Iraê Galvane, meu pai, Fabia Alberton da Silva Galvane, minha mãe e minha irmã/*roomie* Laura Galvane. Vocês compartilharam comigo minhas realizações, fracassos e sonhos, acreditaram em mim mesmo quando eu não acreditei. Amo vocês e muito obrigado por tudo!

Agradeço ao Cesar Augusto Pompêo e à Patrícia Kazue Uda, por terem me dado a oportunidade de participar do PDI de recuperação dos córregos da UFSC e pelos conhecimentos passados, vocês me fizeram adquirir gosto pela hidrologia e drenagem urbana. Agradeço novamente à Patrícia por aceitar me orientar neste trabalho.

Meu sincero obrigado à Greta Symanski Rey Gil, amada companheira de aula, vida, viagens e sonhos, por aturar meus anseios e participar de minhas loucuras. Os quatro anos e meio, e contando, ao seu lado foram indescritíveis.

Não poderia deixar de agradecer meus queridos amigos de infância, Daniel, Iago, Jeovane, Leopoldo e Luiz. Essas feras fizeram minha vida de faculdade muito mais agradável e divertida.

Aos meus colegas de turma, trabalhos, estágio e bar: obrigado pelas risadas e companheirismo.

Também gostaria de agradecer ao PDI, EPAGRI e a Bruna Toscano pelos documentos, dados e paciência cedidos.





“If you hide your ignorance, no one will hit you  
and you'll never learn.”.

- Ray Bradbury, Fahrenheit 451



## RESUMO

A urbanização de uma área transforma suas características naturais. A impermeabilização do solo, a retirada da vegetação nativa e a alteração da hidrografia são as primeiras mudanças decorrentes da ocupação urbana de uma região. Esta ocupação raramente é acompanhada de uma infraestrutura adequada. Por essa razão, é comum haver inundações em áreas urbanizadas, sendo importante prevenir e amenizar desastres e custos financeiros, fornecendo segurança à população. As técnicas compensatórias em drenagem urbana são métodos para diminuir os impactos causados pela intensa urbanização. Esse trabalho analisou o comportamento do Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC), compreendido na bacia hidrográfica do rio do Meio, localizado em Florianópolis (SC), em relação ao escoamento superficial causado pela urbanização da bacia a partir do *software* de modelagem hidrológica SWMM. Criou-se quatro cenários distintos, dois para a conjectura da drenagem atual e outros dois cenários idealizados com técnicas de drenagem sustentável. Os cenários foram simulados a partir de dois eventos de precipitação reais, com precipitação total de 143 mm e 31,6 mm, ocorridos em janeiro de 2018. Foi observado um grande volume e vazão de escoamento, causando extravasamentos de canais (córregos) do campus, diante disso foram simuladas as utilizações de técnicas sustentáveis de pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins de chuva. De modo geral, atestou-se a efetividade das técnicas sustentáveis na redução do pico de vazão de escoamento superficial, do volume de escoamento e na quantidade de canais alagados. Os resultados obtidos indicaram uma redução do pico de vazão em 63,88% e, do volume, em 16,76%, para o evento de 143 mm. Já para o evento de 31,60 mm, o pico de vazão reduziu 88,0% e o volume de escoamento diminuiu 72,20%. Destaca-se o desempenho dos pavimentos permeáveis e a combinação de telhados verdes com jardins de chuva.

**Palavras-chave:** Técnicas de Drenagem Sustentável. SWMM. Escoamento Superficial.



## ABSTRACT

The urbanization of an area transforms its natural characteristics. Soil waterproofing, removal of native vegetation and hydrography modification are the first changes of an urban occupation of a region and this occupation is rarely followed by a proper infrastructure. For this reason, flooding is common in urbanized areas, so it is important to prevent and mitigate disasters and possible financial costs, providing security to the population. Compensatory urban drainage techniques, also known as Low Impact Development (LID), are methods to reduce the impacts caused by the intense urbanization. This work analyzed the behavior of the Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC), comprehended in the Rio do Meio's watershed, located in Florianópolis (SC), in relation to the runoff caused by the precipitation in this basin with software SWMM. Four distinct scenarios were created, two for the current drainage conjecture and two other scenarios idealized with LID controls. The simulated scenarios used two real precipitation events, with total precipitation of 143 mm and 31.60 mm, which occurred in January 2018. A large runoff volume and flow rate was observed, causing campus' channels (streams) to overflow. Therefore, LID controls such as permeable pavements, green roofs and rain gardens were used. In general, these techniques were effective reducing the runoff peak flow, the runoff volume and the amount of flooded channels. The results were satisfactory, the runoff peak was reduced by 63.88% and the volume by 16.76% for the 143 mm event, for the 31.60 mm event the runoff peak decreased 88.00% and the flow volume decreased 72.20%. The performance of the permeable pavements and the combination of green roofs with rain gardens needs to be emphasized.

**Keywords:** Sustainable Urban Drainage. SWMM. Surface Runoff.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alteração do ciclo hidrológico em zonas urbanas.....	29
Figura 2 - Vista aérea das inundações de 2014 em Rio Negrinho/SC.....	30
Figura 3 - Reservatório de retenção em São Paulo/SP.....	31
Figura 4 - Impermeabilização do solo.....	32
Figura 5 - Canal de drenagem de Santos/SP no início do século XX.....	34
Figura 6 - Bacia de detenção: praça Júlio Andreatta, Porto Alegre/RS.....	37
Figura 7 - Parque linear às margens do Rio Cheonggyecheon, Seoul, Coréia do Sul.....	37
Figura 8 - Harmonia entre Urbanização e Sustentabilidade.....	40
Figura 9 - WSUD: Parque com Sistema de Retenção de Chuva na Austrália.....	41
Figura 10 - Oficina de Drenagem no Bairro Itacorubi, Florianópolis.....	42
Figura 11 - Esquema de Pavimento Permeável.....	44
Figura 12 - Telhado Verde, McDonald's em Singapura.....	45
Figura 13 - Mapa de Localização da Bacia do Rio do Meio.....	52
Figura 14 - Mapa de Elevação da Bacia do Rio do Meio.....	54
Figura 15 - Ocupação e Uso do Solo na Bacia do Rio do Meio.....	55
Figura 16 - Fluxograma Metodológico.....	57
Figura 17 - Sub-bacias da Bacia do Rio do Meio.....	58
Figura 18 - Sub-bacias Dentro do Software SWMM.....	59
Figura 19 - Declividade das Sub-bacias do campus da UFSC.....	60
Figura 20 - Tabela com Valores de CN.....	63
Figura 21 - Canais Utilizados neste Estudo.....	65
Figura 22 - Localização dos Canais Utilizados no Estudo.....	66
Figura 23 - Canais e seus Diferentes Tipos de Seção.....	67
Figura 24 - Seções Tipo.....	68
Figura 25 - Chuva dos dias 10/01 e 11/01 de 2018.....	70
Figura 26 - Chuvas dos dias 16/01 e 17/01 de 2018.....	70
Figura 27 - Estacionamento com Pavimento Permeável.....	72

Figura 28 - Escoamento em Telhado Convencional x Telhado Verde.....	73
Figura 29 - Telhado Verde Região Litorânea.....	74
Figura 30 - Jardim de Chuva em um Condomínio.....	75
Figura 31- Campus Atualmente e Seus Canais.....	79
Figura 32 - Campus da UFSC com Técnicas Sustentáveis.....	81
Figura 33 - CN das Sub-bacias Atualmente.....	84
Figura 34 - Gráfico Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário A).....	85
Figura 35 - Perfil Hidráulico Canais 2, 4 e 5 (Cenário A).....	86
Figura 36 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 2 (Cenário A).....	87
Figura 37 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 4 (Cenário A).....	88
Figura 38 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 5 (Cenário A).....	88
Figura 39 - Gráfico Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário B).....	90
Figura 40 - Perfil Hidráulico Canal 2 (Cenário B).....	91
Figura 41 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 2 (Cenário B).....	92
Figura 42 - Mapas de Inundação Campus da UFSC.....	93
Figura 43 - Valores de CN para Técnicas Sustentáveis.....	95
Figura 44 - CN das Sub-bacias com Técnicas Sustentáveis.....	96
Figura 45 - Hidrogramas de Áreas Urbanizadas e Não Urbanizadas.....	97
Figura 46 - Técnicas Sustentáveis SB-1.....	97
Figura 47 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-1 (Cenário C).....	98
Figura 48 - Técnicas Sustentáveis SB-2.....	99
Figura 49 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-2 (Cenário C).....	100
Figura 50 - Técnicas Sustentáveis SB-3.....	101
Figura 51 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-3 (Cenário C).....	101
Figura 52 - Perfil Hidráulico Canais 2, 4 e 5 (Cenário C).....	103
Figura 53 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 2 (Cenário C).....	104
Figura 54 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 4 (Cenário C).....	105
Figura 55 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 4 (Cenário C).....	105



Figura 56 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-1 (Cenário D).....	106
Figura 57 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-2 (Cenário D).....	107
Figura 58 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-3 (Cenário D).....	107
Figura 59 - Perfil Hidráulico Canal 2 (Cenário D).....	109
Figura 60 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 2 (Cenário D).....	110



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das Características e Problemas da Bacia do Rio do Meio.....	53
Tabela 2 - Coeficientes de Manning (n) para diferentes superfícies .....	60
Tabela 3 - Valores do Fator de Armazenamento em Depressões.....	64
Tabela 4 - Dimensões das Seções Tipo.....	68
Tabela 5 - Coeficientes de Manning dos Canais das Sub-bacias .....	69
Tabela 6 - Resumo Parâmetros das Técnicas Sustentáveis Utilizadas .....	76
Tabela 7 - Características Físicas das Técnicas Sustentáveis de Cada Sub-bacia.....	80
Tabela 8 - CN das Sub-bacias Estudadas .....	83
Tabela 9 - Resumo Informações Simulação (Cenário A).....	86
Tabela 10 - Volumes Extravasados e Capacidades Máximas dos Canais 2, 4 e 5 (Cenário A).....	89
Tabela 11 - Resumo Informações Simulação (Cenário B).....	90
Tabela 12 - Comparação dos Coeficientes de Manning (n) Deste Estudo e de Toscano (2018).....	94
Tabela 13 - Novos CN das Sub-bacias Estudadas.....	95
Tabela 14 - Eficiência Aumento Infiltração Sub-Bacias (Cenário C).....	102
Tabela 15 - Eficiência Redução Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário C).....	102
Tabela 16 - Eficiência Redução Pico de Escoamento Sub-Bacias (Cenário C).....	102
Tabela 17 - Eficiência Redução Volume Extravasado Canal 2 (Cenário C).....	106
Tabela 18 - Eficiência no Aumento da Infiltração Sub-Bacias (Cenário D).....	108
Tabela 19 – Eficiência na Redução do Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário D).....	108
Tabela 20 – Eficiência na Redução do Pico de Escoamento Sub-Bacias (Cenário D).....	108



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ASCE – American Society of Civil Engineers  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
LID – Low Impact Development  
MDT – Modelo Digital de terreno  
NEA – Núcleo de Estudo da Água  
NRCS – Natural Resources Conservation Services  
PDI – Projeto de Desenvolvimento Institucional  
PMF – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável  
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems  
SWMM – Storm Water Model Management  
US EPA – United States Environmental Protection Agency  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
UFSM – Universidade de Santa Maria  
USDA – United States Department of Agriculture  
WSUD – Water Sensitive Urban Design



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>27</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	27
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>29</b>
3.1	A URBANIZAÇÃO E A DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	29
3.2	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS .....	33
3.3	DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL .....	39
3.4	MODELAGEM HIDROLÓGICA .....	45
3.5	SWMM.....	47
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>51</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	51
4.2	FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.....	55
4.3	CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS UTILIZADAS NO SWMM.....	57
4.3.1	<b>Características Físicas Gerais das Sub-Bacias</b> .....	<b>58</b>
4.3.2	<b>Uso e Ocupação do Solo</b> .....	<b>61</b>
4.3.2.1	Método de Infiltração – SCS Curve Number (CN).....	61
4.3.3	<b>Armazenamento em Depressões</b> .....	<b>64</b>
4.4	CANAIS UTILIZADOS NO ESTUDO .....	64
4.4.1	<b>Caracterização Física dos Canais</b> .....	<b>66</b>
4.4.2	<b>Coefficiente de Rugosidade de Manning</b> .....	<b>68</b>
4.5	PRECIPITAÇÕES UTILIZADAS NO ESTUDO .....	69
4.6	CARACTERIZAÇÃO DAS TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS ESCOLHIDAS.....	71
4.6.1	<b>Pavimentos Permeáveis</b> .....	<b>71</b>
4.6.2	<b>Telhados Verdes</b> .....	<b>72</b>
4.6.3	<b>Jardins de Chuva</b> .....	<b>74</b>
4.6.4	<b>Camadas Constituintes das <i>LID Controls</i></b> .....	<b>75</b>

4.7	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO .....	77
4.7.1	Caracterização dos Cenários A e B .....	78
4.7.2	Caracterização dos Cenários C e D .....	79
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
5.1	DETERMINAÇÃO DO CN DOS CENÁRIOS A E B .....	83
5.2	RESULTADOS DO SWMM PARA OS CENÁRIOS A E B ...	84
5.2.1	Cenário A .....	84
5.2.2	Cenário B .....	89
5.3	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS SIMULADOS COM OS OBTIDOS POR TOSCANO (2018) .....	92
5.4	DETERMINAÇÃO DO CN DOS CENÁRIOS C E D .....	94
5.5	RESULTADOS DO SWMM PARA OS CENÁRIOS C E D ...	96
5.5.1	Cenário C .....	96
5.5.2	Cenário D .....	106
5.6	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO SWMM COM OUTROS ESTUDOS .....	110
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>113</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE A – Tabela resumo das características físicas das sub-bacias utilizadas para as simulações .....</b>	<b>125</b>
	<b>APÊNDICE B – Tabela com os dados do evento de chuva dos dias 10 e 11 de janeiro de 2018 .....</b>	<b>126</b>
	<b>APÊNDICE C - Tabela com os dados do evento de chuva dos dias 10 e 11 de janeiro de 2018 .....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE D – Hidrogramas da Bacia do Rio do Meio com e sem técnicas sustentáveis .....</b>	<b>128</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O crescente e dinâmico desenvolvimento urbano é um dos principais fatores do aumento de episódios de inundação nas áreas urbanas. Como o crescimento da população urbana, cerca de 84% da população brasileira (IBGE, 2012), dá-se de maneira desorganizada, ela acaba ocupando e impermeabilizando áreas de inundação natural. Essa urbanização “mal planejada” resulta em problemas crônicos de inundações e enchentes que atingem toda a população (FRANCO, 2007). A urbanização de uma bacia hidrográfica contribui para o aumento da ocorrência de inundações, que nada mais é que o extravasamento de água do canal. Quando as margens desse canal são ocupadas pelo homem os problemas se agravam, podendo ser eles de cunho social, econômico e ambiental.

As soluções, durante muito tempo, tiveram como foco remover as águas pluviais em excesso da maneira mais rápida possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações (TUCCI, 1993). Porém, com o aumento considerável da ocupação de bacias hidrográficas e várzeas de inundação, as soluções de drenagem clássicas não conseguem resolver os problemas de inundação, já que acabam transferindo problemas para bacias e comunidades vizinhas. Os cursos d’água se tornam mais rápidos durante os picos de vazão (LEOPOLD, 1968) e, com o passar do tempo, as inundações passam a ser "normais" perante os olhos da sociedade.

Além dos problemas de inundações e alagamentos e prejuízos sociais e econômicos, a urbanização desgovernada e a falta de soluções complexas influenciam a qualidade de água dos corpos hídricos receptores de águas pluviais. Segundo o *National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure* (2003), as cargas anuais de poluição nos recursos hídricos provenientes de águas pluviais podem ser similares às de descargas industriais e de águas servidas para os tratamentos convencionais.

A bacia hidrográfica do Rio do Meio, abrange o campus da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, é considerada uma bacia urbana e vem sofrendo inundações devido ao aumento da urbanização no campus e nos bairros ao seu redor. O histórico recente exemplifica isso, em dezembro de 1995, chuvas intensas causaram diversos prejuízos à bacia do campus da UFSC, como a perda de documentos guardados na Biblioteca Universitária. Outro exemplo de forte inundação foi o desastre causado em novembro de 2008, o qual atingiu diversos municípios catarinenses, deixando-os em situação de calamidade pública, como em Florianópolis.

Portanto, para apresentar soluções que resolvam os problemas trazidos pela forte urbanização e impermeabilização do solo, o estudo em drenagem urbana deve ser desenvolvido no mesmo ritmo de crescimento das cidades. No Brasil ainda se emprega muito a drenagem convencional ou clássica, aquela que "se livra" do escoamento pluvial mais rápido possível, enquanto novas abordagens já vêm sendo adotadas em outros lugares, destacando-se os conceitos "*Sustainable Urban Drainage Systems*" (SUDS), no Reino Unido, o "*Water Sensitive Urban Design*" (WSUD), na Austrália e "*Low Impact Development*" (LID), na América do Norte (URRUTIAGUER *et al.*, 2010 *apud* BAPTISTA, 2011).

Com o exposto, é tem importância social e econômica o estudo da bacia do rio do Meio, afim de evitar novas inundações e para harmonizar o convívio entre desenvolvimento econômico e urbano e o meio ambiente por meio da drenagem sustentável. Complementarmente, a realização deste trabalho também se justifica pela bacia do campus da UFSC ter sido objeto de estudo do Projeto de Desenvolvimento Institucional da UFSC, Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima, o qual foi desenvolvido pela UFSC sob coordenação do Prof. Cesar Augusto Pompêo e Profa. Patrícia Kazue Uda.

O modelo hidrológico SWMM é utilizado para avaliar a capacidade de drenagem e o volume de escoamento superficial em vários outros países do mundo, principalmente pelos continentes da Oceania e Europa. Esse modelo possui uma função com técnicas de drenagem sustentáveis para amenizar o impacto da impermeabilização do solo. Os resultados encontrados são de importância para o desenvolvimento e planejamento de uma região, já que a sustentabilidade pode tornar a relação entre chuva e áreas urbanas e impermeáveis semelhantes a cenários antes do desenvolvimento.

Dentro de todo este contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a efetividade destas técnicas de drenagem sustentável na amenização do impacto da impermeabilização do solo e do escoamento superficial. As simulações foram realizadas de forma regional, na bacia do rio do Meio, e as técnicas foram aplicadas no campus da universidade. A avaliação do rendimento da drenagem sustentável deu-se comparando a conjectura da drenagem atual da UFSC e após às técnicas sustentáveis. Após isto, espera-se que este trabalho possa servir de inspiração e incentivo para a aplicação destas técnicas e que elas possam ser difundidas para toda a comunidade universitária.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar alternativas para a drenagem de água pluvial na bacia hidrográfica do campus da UFSC, comparando as vazões e volumes de escoamento superficial em um cenário atual e em outro idealizado com técnicas de drenagem sustentável, utilizando como ferramenta o *software* de modelagem hidrológica *Storm Water Management Model* (SMWW).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Estudar as técnicas de drenagem urbana sustentável e escolher as técnicas possíveis para o campus da UFSC;
- ii. Simular e avaliar o escoamento superficial gerado pelo SWMM para dois cenários de uso e cobertura do solo: atual e com a inserção das técnicas escolhidas;
- iii. Comparar este estudo com outros trabalhos realizados no Brasil.



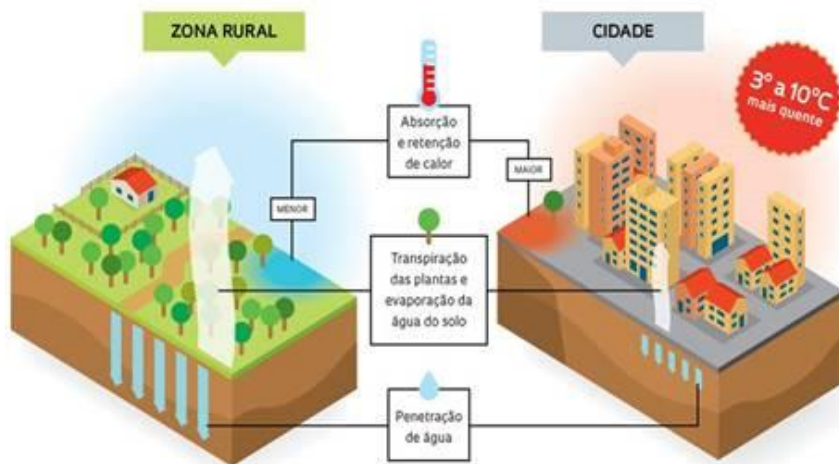
### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 A URBANIZAÇÃO E A DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

A crescente expansão urbana no Brasil, atualmente com 84% da sua população considerada urbana (IBGE, 2012), nas últimas décadas tem gerado significativos impactos na dinâmica da água, principalmente nas grandes cidades. Isso se deve ao fato da velocidade da urbanização das metrópoles brasileiras tornar inócua grande parte das tentativas de se ordenar a produção do ambiente construído (FRANCO, 2007).

Além disso, o ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devido, principalmente, à alteração da superfície e a canalização do escoamento, aumento de poluição devido à contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população (TUCCI, 2003). A Figura 1 apresenta a alteração do ciclo hidrológico em zonas urbanas e suas consequências.

Figura 1 - Alteração do ciclo hidrológico em zonas urbanas



Fonte: Pivetta (2012)

Alguns problemas causados por essa intensa urbanização são:

- Problemas de tráfego causados por inundações de ruas;
- Perdas econômicas causadas por inundações de casas e solos;
- Comprometimento do desempenho de estações de tratamento durante as chuvas;

- Risco aumentado de contaminação de águas receptoras por limpeza das superfícies pela água de chuva (NIEMCZYNOWICZ, 1993 *apud*. SOUZA, 2005).

A Figura 2 mostra uma imagem aérea da enchente ocorrida no município de Rio Negrinho, Santa Catarina, exemplificando os problemas causados pela urbanização e precipitações intensas.

Figura 2 - Vista aérea das inundações de 2014 em Rio Negrinho/SC



Fonte: A Gazeta (2014)

Esses problemas estão atribuídos a alguns fatores dessa urbanização “mal planejada”, como a impermeabilização excessiva do solo urbano, e em especial das várzeas, que operam como espaços de regulação hidrológica, resultando em problemas crônicos de enchentes que atingem toda a população (FRANCO, 2007).

Outra grande questão é a contaminação das águas receptoras, por causa de poluentes contidos na água de chuva. Segundo *National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure* (2003), as cargas anuais de poluição nos recursos hídricos provenientes de águas pluviais podem ser similares às de descargas industriais e de águas servidas para os tratamentos convencionais.

Diante destes efeitos, áreas têm sido demolidas, para a implantação de medidas mitigadoras, para recreação e controle do escoamento pluvial, representando solução onerosa para o poder público (SOUZA, 2005).

Um exemplo dessas medidas mitigadoras é o que acontece na cidade de São Paulo, que sofre frequentemente problemas com inundações e enchentes. Para resolver as inundações que afetam o sistema viário estrutural que ampara a logística produtiva da metrópole, investe-se na construção de uma vasta rede de reservatórios de retenção de água pluvial junto às áreas periféricas. Esses reservatórios são conhecidos popularmente como “piscinões” (FRANCO, 2007).

A Figura 3 mostra uma imagem de um “piscinão” em São Paulo.

Figura 3 - Reservatório de retenção em São Paulo/SP



Fonte: Mancuso (2017)

Com essa intensa urbanização, a concentração da população brasileira ocorreu principalmente em grandes metrópoles, aumentando a poluição e a frequência das inundações, em função da impermeabilização do solo e da canalização de rios (TUCCI, 2003).

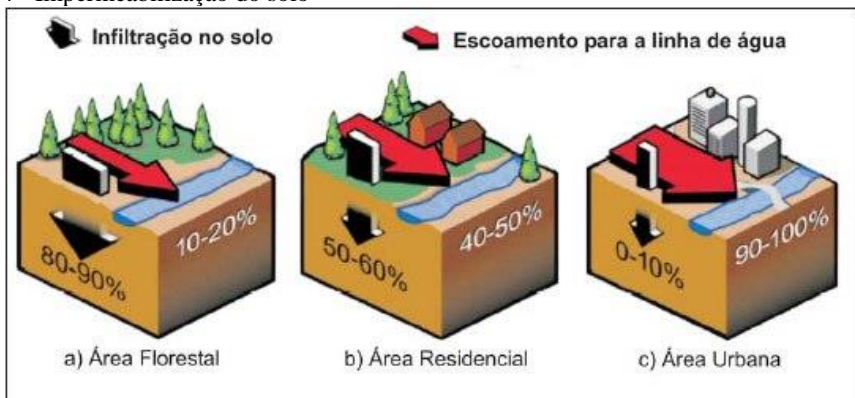
A impermeabilização do solo está relacionada com o crescimento urbano não planejado. Nela, o aumento da população urbana ocorre principalmente na periferia das metrópoles, ocupando áreas de mananciais e de risco de inundação e de escorregamento (TUCCI, 2003). Essas ocupações alteram o ciclo natural da água, sendo quase que totalmente canalizada para receptores próximos, reduzindo a taxa de evapotranspiração e, também, a taxa de infiltração para reabastecimento do volume de água subterrânea.

Todos esses fatores fazem com que o risco de inundações se torne mais elevado, pois, segundo Tucci (2003), a vazão máxima de uma bacia urbana aumenta (em até 7 vezes, Leopold, 1968) com as áreas impermeáveis e com a canalização do escoamento. Contudo, locais com

altas taxas de densidade populacional e áreas com solo impermeável, principalmente áreas com ocupação impróprias, tornam-se locais de risco para a população.

Outro fator importante é que, com o aumento das vazões máximas, por consequência da impermeabilização, o tempo de retardo (intervalo de tempo entre o momento de maior intensidade de chuva e a vazão máxima de escoamento) decresce. Os cursos d'água se tornam mais rápidos durante os picos de vazão e, mais lentos e com menor volume durante períodos de seca (LEOPOLD, 1968). Exemplificação exposta pela Figura 4.

Figura 4 - Impermeabilização do solo



Fonte: Ribeiro (2015)

Outro impacto causado pela urbanização e, também intensificado pelo uso, ocupação e impermeabilização do solo é a redução da qualidade das águas drenadas para os corpos receptores. O impacto sobre a qualidade da água, segundo Tucci (2003), é resultado do seguinte: (a) poluição existente no ar que se precipita junto com a água; (b) lavagem das superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e metais; (c) resíduos sólidos representados por sedimentos erodidos pelo aumento da vazão (velocidade do escoamento) e lixo urbano depositado ou transportado para a drenagem; (d) esgoto cloacal que não é coletado e escoado através da drenagem.

Um bom exemplo de como se dá essa relação da urbanização com a qualidade de água de drenagem é exposto por Leopold (1968). Geralmente, em áreas marginalizadas pela urbanização acelerada, o despejo de esgoto doméstico é realizado por tanques sépticos, sendo



importante compreender a interação dos tanques sépticos com a água da chuva, principalmente quando ocorrem precipitações intensas, certificando-se que não ocorram vazamentos que afetem a qualidade de córregos próximos.

Lotes que estão em processo de construção geralmente são escavados. Portanto sua vegetação natural é retirada, o solo retirado é colocado em pilhas que ficam sem proteção contra a chuva. Então, esses sedimentos acabam sendo carregados pela drenagem para as canalizações, córregos e até o corpo receptor final, também diminuindo a qualidade da água (LEOPOLD, 1968).

Por causa da retirada de vegetação natural e da exposição do solo abaixo dela devido às construções, a quantidade de sedimento originado pela erosão é de 20 mil até 40 mil vezes maior que a quantidade de sedimentos gerada em zonas rurais ou áreas com vegetação nativa, no mesmo período de tempo (WOLMAN, 1964 *apud*. LEOPOLD, 1968).

É perceptível a influência que a urbanização acelerada e mal planejada na água drenada, lembrando que essa água é de extrema importância para o reabastecimento de corpos hídricos, usados para abastecimento humano, dessedentação e em processos produtivos industriais.

A quantidade de sedimentos carregados pela drenagem é relacionada com os picos de vazão máxima que determinada bacia hidrográfica possui (LEOPOLD, 1968). Dessa maneira, temos que uma bacia muito urbanizada terá maiores picos de vazão, então maiores problemas com a qualidade da água e acúmulo de sedimentos nas redes de drenagem e córregos.

### 3.2 DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Durante muito tempo, o objetivo principal da drenagem urbana foi remover as águas pluviais em excesso da maneira mais eficiente possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações (TUCCI, 1993). Pode-se dizer que a drenagem urbana foi, e ainda é, em alguns locais, a prática de drenar as águas de chuva para córregos e rios próximos o mais rápido possível, construindo canais e retificando cursos de água. A Figura 5 mostra um canal de drenagem construído na cidade de Santos, uma das primeiras cidades brasileiras com um sistema de drenagem mais complexo no Brasil.

Figura 5 - Canal de drenagem de Santos/SP no início do século XX



Fonte: Pereira (2006)

Ao longo de toda a história da humanidade, sempre houve uma profunda ligação das cidades com os cursos de água. Desde as primeiras aglomerações urbanas constata-se sua localização preferencialmente junto aos cursos de água, tendo em vista que a disponibilidade hídrica favorecia o suprimento para consumo e higiene das populações, efetuando, ainda, a evacuação dos dejetos (BAPTISTA, 2011).

O aumento das aglomerações urbanas, a partir do século XIX, trouxe dificuldades e desconforto resultantes da precariedade da infraestrutura de controle de presença de águas nas cidades. Como consequência, ocorreram grandes epidemias de cólera e tifo que assolaram a Europa (BAPTISTA, 2011). Além dos problemas com doenças, essas aglomerações também sofriam com inundações, já que as construções ficavam cada vez mais próximas de córregos e rios. Em razão desses problemas surgiu o higienismo.

Os preceitos higienistas, preconizavam a canalização e o controle dos cursos de água urbanos, como meio de reduzir a ocorrência de doenças de veiculação hídrica, alterando a relação "harmônica" entre as cidades e as águas (BAPTISTA, 2011). Em termos hidrológicos são estabelecidas as primeiras relações quantitativas entre precipitação e escoamento para dimensionamento de obras de esgoto (BRAGA, 1998).

O higienismo chegou ao Brasil logo após seu aparecimento na Europa. Porém, apenas seria aplicado mais efetivamente após a

proclamação da República, em 1889 (BRAGA, 1998). Curiosamente, contra a tendência europeia, no Brasil, o sistema separador absoluto (rede de esgoto pluvial separada da rede de esgoto doméstico) foi predominante nas obras de drenagem. Desta forma, se estabeleceu uma ordem de prioridades, ainda hoje praticada, de implantar primeiro redes de água potável, depois redes de esgoto doméstico e esgoto pluvial. Razões econômicas podem estar por trás dessa opção (BRAGA, 1998).

Com o desenvolvimento da microbiologia e da epidemiologia, que apresentaram vigoroso avanço, evidenciou-se o papel sanitário das águas pluviais na transmissão de diversas doenças. Esses aspectos sanitários contribuíram muito para uma mudança radical de concepção das relações entre urbanismo e a presença de águas nas cidades, preconizando a evacuação rápida das águas pluviais e servidas (BAPTISTA, 2011).

Com o contexto histórico apresentado, pode-se conceituar a drenagem urbana convencional, segundo Tucci (2007), como a melhor drenagem sendo aquela que escoar a água da chuva o mais rápido possível para jusante.

A drenagem convencional é dividida em microdrenagem e macrodrenagem. De acordo com Tucci (1993), a microdrenagem aplica-se a áreas onde o escoamento natural não é bem definido, portanto há grande influência do uso e ocupação do solo e, nas áreas urbanas, ela é definida pelos traçados das ruas.

As metodologias tratadas na microdrenagem são detalhadamente a topografia, quadras, sarjetas, bueiros e os condutos (TUCCI, 1993).

Entende-se por macrodrenagem as intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais de áreas providas de sistemas de microdrenagem ou não. Nesses fundos de vale, o escoamento é normalmente bem definido, mesmo que não exista em curso de água perene (TUCCI, 1993). Assim, obras de macrodrenagem buscam minimizar enchentes nas bacias urbanas, pela construção de canais, bacias de detenções, etc.

Também inseridas na drenagem urbana convencional, como forma de controle contra as inundações, existem as medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais modificam o sistema fluvial afim de evitar prejuízos relacionados às enchentes. Já as não estruturais, conforme, Tucci (2007), são aquelas que conservam o meio ambiente e os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as inundações através de medidas preventivas. As medidas sempre visam minimizar as suas consequências (TUCCI, 1993).

Para mais, as medidas estruturais são divididas em extensivas e intensivas, que se diferem no local onde as obras são construídas. Porém,

as duas têm o mesmo objetivo principal, o controle de inundações e melhoria da relação das áreas urbanas e as águas pluviais. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como o reflorestamento (reduzindo picos de cheias), mudanças de plantio e conservação do solo (reduzindo a perda de solo e o assoreamento dos rios), enquanto as medidas intensivas são aquelas que agem no rio (TUCCI, 2007).

As medidas intensivas podem ser de três tipos: a) que aceleram o escoamento (construção de diques e alteração da declividade de cursos de água), b) retardam o escoamento (praticamente todos os reservatórios de retenção e detenção) e c) que desviam o escoamento (desvios de parte do volume para áreas de inundação) (SIMONS *et al.*, 1977 *apud* TUCCI, 1993).

Apesar disso, as medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa. Isto exigiria a proteção contra a maior enchente possível. Esta proteção é fisicamente e economicamente inviável na maioria das situações (TUCCI, 1993). As medidas não estruturais são extremamente importantes para reduzir os problemas das grandes aglomerações urbanas e das inundações, e, na maioria dos casos elas possuem ótima eficiência com custos econômicos bem menores.

As medidas não estruturais de inundação podem ser agrupadas em: regulamentação do uso da terra, construções à prova de enchentes, seguro de enchente, previsão de alerta de inundação (TUCCI, 1993). Além disso, a criação de parques, lineares ou não, e áreas de lazer, como quadras de esportes, também ajudam no controle a inundações, sendo que esses locais podem sofrer alagamentos em dias de chuvas intensas.

A Figura 6 e Figura 7 trazem exemplos de uma bacia de detenção e a harmonia entre urbanização e sustentabilidade de um rio recuperado.

Figura 6 - Bacia de detenção: praça Júlio Andreatta, Porto Alegre/RS



Fonte: Martins (2015)

Figura 7 - Parque linear às margens do Rio Cheonggyecheon, Seul, Coreia do Sul



Fonte: Baratto (2014)

O planejamento do uso e ocupação do solo é possível se população e governo trabalharem em conjunto, discutindo o Plano Diretor dos municípios e elaborando o Plano Diretor de Macrodrenagem. De acordo com Tucci (2007), o sistema de previsão e alerta tem a finalidade de se

antecipar à ocorrência da inundação, avisando a população e tomando medidas necessárias para reduzir os prejuízos resultantes da inundação. Esse sistema envolve a equipe da Defesa Civil de cada região.

Melhores soluções para esses problemas são alcançadas a partir de uma compreensão mais integrada do ambiente urbano e das relações entre os sistemas que o compõem, envolvendo-se aspectos legais, institucionais, tecnológicos e sociológicos. Em outras palavras, o conceito do que se entende por drenagem urbana extravasou o campo restrito da engenharia para se tornar um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos (TUCCI, 1993). Portanto, a melhor gestão da inundação é a partir da combinação das medidas estruturais e não estruturais, posto que, segundo Tucci (2007), na grande maioria dos países desenvolvidos a política de gestão de inundações é baseada principalmente em medidas não estruturais. As medidas estruturais somente são justificáveis quando são economicamente viáveis ou socialmente indispensáveis.

Além de tudo, a drenagem urbana depende de vários outros fatores para que ela tenha o impacto positivo no cotidiano das aglomerações urbanas. De acordo com Tucci (1993), a drenagem depende dos seguintes:

- Existência de uma política para o setor que defina objetivos a serem alcançados e os meios (legais, institucionais, técnicos e financeiros) para atingi-los;
- Existência de uma política para ocupação do solo urbano articulada com a drenagem urbana;
- Processo de planejamento que contemple medidas de curto, médio e longo prazos em toda bacia, integrando a drenagem urbana pluvial com o complexo maior do meio ambiente;
- Existência de entidade eficiente que domine as tecnologias necessárias, que implante obras, atividades de comunicação social, promova a participação popular, aplique leis e normas, que lidere o setor;
- Domínio da tecnologia adequada para planejamento, projeto, construção e operação de obras;
- Organização de campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

A partir dessa nova forma de pensamento, no começo dos anos 60, principalmente em países desenvolvidos, passou-se a questionar a drenagem urbana realizada de forma tradicional, que com obras, transferem os problemas para outras áreas ou para o futuro (POMPÊO,

2000). Com isso, surgem as primeiras ideias sobre drenagem urbana sustentável, que será abordada a seguir.

### 3.3 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

A urbanização intensa observada ao longo da segunda metade do século XX veio evidenciar os limites das soluções clássicas de drenagem urbana no tocante à sua real eficácia (BAPTISTA, 2011). No mesmo período verificou-se que a forte intervenção no ambiente como as alterações dos rios, esgoto sem tratamento escoando na drenagem, passaram a degradar de forma acentuada o ambiente urbano (TUCCI, 2007).

Os problemas das soluções clássicas consistem na transferência para jusante os problemas de inundação, obras de drenagem devem ser construídas e, em geral, são muito onerosas e seu custo deve ser suportado por toda a comunidade, traz uma falsa ideia de segurança com respeito a inundações, facilitando a ocupação de áreas inundáveis, quando municípios não possuem Plano Diretor de Uso e Ocupação do solo, normalmente as soluções clássicas não contemplam os problemas de qualidade da água, a construção de galerias impossibilita a inserção dos cursos de água na paisagem urbana.

As tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental. Essas tecnologias são alternativas em relação às clássicas, porque consideram os impactos da urbanização de forma global, buscando compensar os efeitos da urbanização controlando a impermeabilização e evitando-se a transferência de problemas para jusante (BAPTISTA, 2011).

O desenvolvimento sustentável deve se relacionar com um processo de formulação de políticas que permitem um desenvolvimento sustentável sob o ponto de vista econômico, social e ecológico (PRONK e HAQ, 1992 *apud* POMPÊO, 2000). Portanto, o desafio da gestão ambiental sustentável é encontrar o equilíbrio entre os objetivos humanos e os impactos sobre o meio ambiente (FALKENMARKER, 2003 *apud* TUCCI, 2007), e um olhar que possa focar o problema das cheias urbanas incorporando a dinâmica social e o planejamento multissetorial (POMPÊO, 2000). A Figura 8, a seguir, exemplifica o pensamento de Pompêo (2000) e Tucci (2007).

Figura 8 - Harmonia entre Urbanização e Sustentabilidade



Fonte: Shifman (2017)

De acordo com Baptista (2011) a abordagem integrada consiste em vincular a prevenção dos riscos (risco de inundação, à saúde pública, poluição, etc.) ao projeto de ordenamento territorial, promover a interação do projeto urbanístico com a gestão das águas pluviais, potencializando, assim, os aspectos que podem levar à valorização de soluções que atendam simultaneamente aos objetivos do empreendimento urbanístico e àqueles de adequado tratamento das águas pluviais.

Tais resultados podem ser obtidos por meio de combinações de soluções tecnológicas que facilitam a infiltração de águas pluviais e o aumento do tempo de trânsito, com seu armazenamento temporário (BAPTISTA, 2011).

As técnicas compensatórias baseiam-se, essencialmente, na retenção e na infiltração das águas precipitadas, reduzindo a probabilidade de inundações e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais (BAPTISTA, 2011). Elas podem, ainda, integrar-se ao meio ambiente e ao tecido urbano, permitindo usos associados, por exemplo, a áreas de estacionamento, áreas para lazer e prática de esportes, parques, etc.

Com exceção das bacias de amortecimento de cheias, já empregadas em diversas cidades brasileiras, a utilização dessas técnicas no Brasil ainda é relativamente incipiente (BAPTISTA, 2011). Enquanto novas abordagens já vêm sendo adotadas em outros lugares, destacando-



se os conceitos “*Sustainable Urban Drainage Systems*” (SUDS), no Reino Unido, o “*Water Sensitive Urban Design*” (WSUD), na Austrália e “*Low Impact Development*” (LID), na América do Norte (URRUTIAGUER *et al.*, 2010 *apud* BAPTISTA, 2011).

A Figura 9 expõe um exemplo prático de WSUD na Austrália.

Figura 9 - WSUD: Parque com Sistema de Retenção de Chuva na Austrália



Fonte: Chung (2017)

O controle de enchentes, assim como na drenagem clássica, envolve medidas estruturais e não estruturais, que dificilmente estão desassociadas (TUCCI, 2007). Segundo Baptista (2011), como técnicas compensatórias não estruturais tem-se o favorecimento de retardamento dos escoamentos, racionalização da ocupação do solo urbano, procedimentos de controle como a não conexão direta de áreas impermeáveis ao sistema de drenagem, educação ambiental.

Além do exposto acima a educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos, geólogos entre outras profissões, da população e de administradores públicos é importante para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente. Conforme Pompêo (2000) a participação da sociedade é tida como ingrediente essencial no traçado do caminho ao desenvolvimento sustentável.

A Figura 10 apresenta uma oficina de drenagem realizada em Florianópolis, Santa Catarina, evento que reuniu a Prefeitura Municipal de Florianópolis, professores da UFSC e comunidade.

Figura 10 - Oficina de Drenagem no Bairro Itacorubi, Florianópolis



Fonte: PMF (2017)

As técnicas compensatórias estruturais podem ser distinguidas em compensatórias de infiltração e em compensatórias de retenção (BAPTISTA, 2011), também denominadas técnicas lineares e de controle na fonte ou localizadas, respectivamente.

As técnicas lineares possuem associação com o sistema viário das áreas urbanas e segundo Tucci (2007), para reduzir os impactos a jusante, uma das ações é a de permitir maior infiltração da precipitação, criando a condição mais próxima possível às condições naturais. Enquanto as técnicas localizadas, de acordo com Baptista (2011), são principalmente os poços, os telhados armazenadores, os planos de infiltração e os reservatórios individuais, que possibilitam, além do controle da produção do escoamento, a eventual utilização das águas pluviais.

Todas as técnicas apresentam a vantagem de flexibilidade de implantação, podendo ser realizadas à medida de desenvolvimento urbano. Possuem custo baixo, mas a manutenção, que deve ser frequente, sob a responsabilidade dos usuários, pode comprometer a eficiência global do sistema.

Com base nos autores Baptista (2011) e Tucci (2007) algumas técnicas lineares existentes e aplicáveis atualmente são:

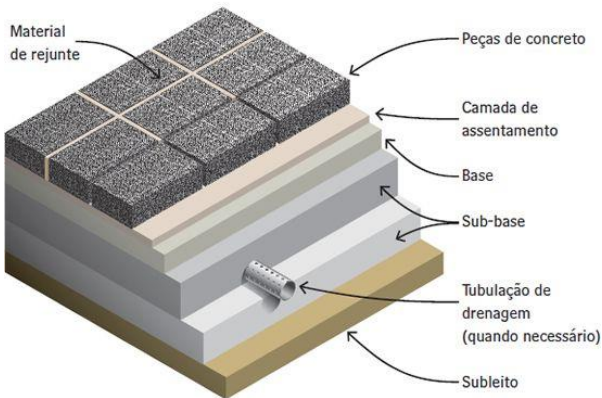
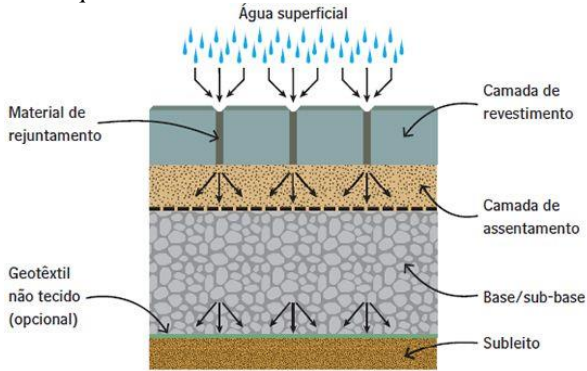
- Trincheiras de infiltração e detenção: são implantadas junto à superfície ou a pequena profundidade, são bastante versáteis, podendo serem utilizadas em canteiros centrais

e passeios, ao longo do sistema viário, ou ainda junto a estacionamentos, jardins, terrenos esportivos e em áreas verdes em geral. São utilizadas há algum tempo em diversos países europeus, além da Austrália, Estados Unidos e Japão;

- Valas, valetas e planos de detenção e infiltração: são constituídas por simples depressões escavadas no solo com o objetivo de recolher as águas pluviais e efetuar o seu armazenamento temporário. A sua utilização vem sendo feita desde os anos 1970, em diversos países;
- Pavimentos permeáveis: visa o controle da produção do escoamento superficial no próprio sistema, existindo os pavimentos permeáveis e os pavimentos porosos. A combinação com a adoção de uma estrutura de pavimento poroso pode melhorar significativamente o controle do escoamento superficial. O pavimento permeável pode ser utilizado em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego.

A Figura 11 apresentada na página seguinte exhibe um esquema didático do funcionamento dos pavimentos permeáveis, importante técnica para suavizar a impermeabilização do solo e os efeitos da urbanização descontrolada.

Figura 11 - Esquema de Pavimento Permeável



Fonte: Benevenuto (2018)

Ainda baseado nos autores citados acima, as técnicas localizadas são:

- Poços: são dispositivos com pequena ocupação de área superficial, concebidos para evacuar as águas pluviais diretamente no subsolo, por infiltração. A infiltração das águas pelos poços contribui para a alimentação da vegetação circundante e do lençol subterrâneo;
- Telhados armazenadores: Um fator importante de impermeabilização do solo urbano é a implantação das edificações. Assim, o armazenamento provisório das águas pluviais nos telhados e a restituição de uma vazão amortecida à rede de água pluvial reduzem os efeitos da

impermeabilização. Os telhados vegetalizados apresentam interesse adicional na forma de proteção térmica, contribuindo para o isolamento da edificação.

A Figura 12 demonstra a real possibilidade da convivência entre urbanização e globalização e a sustentabilidade.

Figura 12 - Telhado Verde, McDonald's em Singapura



Fonte: Barbosa (2014)

O emprego destas tecnologias compensatórias em drenagem urbana possibilita a continuidade do desenvolvimento urbano sem gerar custos excessivos, combinando questões de drenagem pluvial com outras questões urbanísticas (BAPTISTA, 2011).

Essas alternativas possuem grandes vantagens, porém, elas dependem, das soluções adotadas e da sua inserção no ambiente urbano.

Além disso a drenagem sustentável considera em suas aplicações questões sociais, saindo um pouco da engenharia, técnicas e obras, gerando mais empatia com a população.

### 3.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Segundo Tucci (2005), o modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Sendo que o modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência

desenvolveu, para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas.

A hidrologia trata dos fenômenos naturais complexos encontrados no ciclo hidrológico. Os processos, como a precipitação, evaporação, infiltração e o escoamento em rios, dependem de um grande número de fatores, que dificulta a análise quantitativa e qualitativa dos mesmos (TUCCI, 2005). Transformando o uso de modelos importantes para facilitar as análises.

A classificação abaixo traz a sistematização dos modelos:

- Contínuo e discreto: um sistema é dito contínuo quando os fenômenos são contínuos no tempo, enquanto que o sistema é discreto quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos (TUCCI, 2005);
- Concentrado e distribuído: um modelo é concentrado quando não leva em conta a variabilidade espacial. A precipitação média de uma bacia é um exemplo da integração espacial da variável de entrada. Em geral, os modelos concentrados utilizam somente o tempo como variável independente (TUCCI, 2005);
- Estocástico e determinístico: esta é uma das principais classificações dentro da simulação hidrológica. Segundo Chow (1964), se a chance de ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos;
- Conceitual e empírico: um modelo é dito conceitual, quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Esta definição é estabelecida para diferenciar os modelos que consideram os processos físicos, dos modelos ditos "caixa-preta" (TUCCI, 2005).

Para o uso adequado de um modelo hidrológico, faz-se necessário o entendimento da sua estrutura, bem como, das suas limitações, sendo o processo de calibração essencial para que os resultados simulados pelos modelos se assemelhem ao comportamento real da bacia em estudo. Após a calibração, estes modelos tornam-se ferramentas de obtenção de dados confiáveis para bacias não monitoradas e hidrológicamente semelhantes (SANTOS, 2009).

A disponibilidade de dados existentes pode inviabilizar algumas metodologias mais sofisticadas que exigem muitas informações,

enquanto que outras utilizam poucos parâmetros relacionados com alguns indicadores podem ser úteis para responder as questões pendentes (TUCCI, 2005).

De acordo com Canholi (2005), em casos de falta de dados, nos estudos hidrológicos voltados à drenagem urbana, são adotados modelos matemáticos para definição de hidrogramas de projetos, utilizando dados das características hidráulicas e geomorfológicas da bacia: impermeabilização, tempos de concentração, bem como suas precipitações e vazões máximas.

A modelagem, portanto, auxilia um melhor entendimento dos comportamentos hidrológicos na bacia, buscando a compreensão de todos os processos que ocorrem em seu interior, permitindo a quantificação de variáveis que ajudam nas tomadas de decisões.

Um modelo matemático computacional utilizado para modelagens hidrológicas e hidráulicas é o *Storm Water Model Management* (SWMM).

### 3.5 SWMM

*Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo matemático desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA). Foi desenvolvido pela primeira vez em 1971 e sofreu várias atualizações importantes desde então, sua versão atual, SWMM 5, foi atualizada em 2015.

É um modelo dinâmico de simulação chuva-vazão, usado para evento único ou simulação contínua da quantidade e da qualidade do escoamento de áreas urbanas, principalmente. Utilizado em todo o mundo para planejamentos, análises e projetos relacionados ao escoamento de águas pluviais, esgotos sanitários e outros sistemas de drenagem em áreas urbanas, com muitas aplicações em áreas não urbanas também (US EPA, 2015).

O SWMM 5 fornece um ambiente integrado para edição dos dados de entrada da área de estudo, executando simulações hidrológicas, hidráulicas e de qualidade da água, e mostrando resultados em variadas formas. Os resultados incluem área de drenagem codificada por cores e mapas do sistema de escoamento, gráficos e tabelas de séries temporais, gráficos de perfis e análises de frequência estatística (US EPA, 2015).

Segundo a US EPA (2015) desde a sua criação, o SWMM tem sido utilizado em diversas aplicações:

- Projeto e dimensionamento de componentes do sistema de drenagem para controle de inundações;

- Dimensionamento de instalações de retenção para controle de enchentes e proteção da qualidade da água;
- Mapeamento de inundações de sistemas de canais naturais;
- Avaliar a eficácia das técnicas de drenagem de baixo impacto para reduzir o escoamento e para controlar as cargas de poluentes que escoam para os cursos de águas. Entre outras aplicações.

Jato-Espino, *et al.* (2016) comparou a eficiência de dois diferentes telhados verdes e uma estrutura de pavimento permeável à performance de um sistema de drenagem existente em uma bacia em Donostia, norte da Espanha, utilizando o software ArcGIS e o modelo hidrológico SWMM. A cidade de Donostia é considerada uma das mais chuvosas do país, com a média de chuva anual sendo aproximadamente 1500 mm por ano. Foram necessários 4 dados de entrada diferentes: sub-bacias, técnicas LID (WSUD e/ou SUDS), condutos e nós. Para as sub-bacias foram necessários alguns outros parâmetros como área, declividade média, porcentagem de impermeabilização, etc. A simulação para o sistema de drenagem já existente resultou em vários nós e condutos sofrendo transbordamento, já que estavam conectados à áreas muito impermeáveis e com pouca infiltração. Quando as técnicas de drenagem de baixo impacto foram inseridas na bacia, sendo dois telhados verdes e um estacionamento com pavimento permeável, as inundações no sistema diminuíram consideravelmente. A simulação mostrou que a técnica do pavimento permeável é mais eficiente e traz mais resultados que o telhado verde, reduzindo 67,6% do volume de escoamento, enquanto os telhados verdes reduziram, em média, 38,5% do volume. Porém a combinação das técnicas é a maneira mais sensata de diminuir os efeitos da impermeabilização, já que juntas reduziram aproximadamente 50% do volume de escoamento da bacia.

Noordhoek (2015) analisou a eficiência de técnicas de drenagem de baixo impacto (WSUD) na bacia de Frederick Street, subúrbio de Adelaide, Sul da Austrália. Essa região da Austrália vem sofrendo cada vez mais com a demanda de água, crescendo a importância do uso da água da chuva e da recarga das águas subterrâneas. A bacia possui aproximadamente 45 hectares e foram analisados os picos de vazão e o volume de escoamento com e sem as técnicas sustentáveis para os anos de 1993, 2013 e 2040, sendo possível projetar como a bacia estaria futuramente. O governo do estado do Sul da Austrália listou 16 diferentes técnicas de drenagem, porém, para a bacia de Frederick Street apenas duas se encaixaram pela pouca disponibilidade de área e pela baixa



declividade (por volta de 0,5%), são elas: tanques de detenção e biorretentores (similar ao tanque, mas com filtração de vegetação em sua estrutura). As simulações mostraram que em 2040, sem as técnicas de WSUD, o volume de escoamento aumentaria 12% e a vazão de pico 11%. Já com tanques de detenção em todas as casas o volume de escoamento não aumentaria e a vazão de pico reduziria 3%, e com bioretentores o volume de escoamento aumentaria 9% e a vazão de pico reduziria 31%, mostrando que apesar de grande eficiência no controle de vazões de pico, os bioretentores pecam com poucos resultados no controle do escoamento. Confirmando que a combinação das técnicas seria o cenário ideal para este caso.

Sousa (2016) identificou, por meio de simulação hidrológica do SWMM, os efeitos que a ocupação estabelecida na região metropolitana de João Pessoa, nos últimos anos, traz em relação à drenagem de águas em áreas já existentes, e como esses efeitos podem ser minimizados, a partir de intervenções voltadas para o controle do escoamento. O estudo foi realizado em uma bacia de um loteamento particular, de 0,9 km<sup>2</sup> e com concepção do sistema de captação das águas em escoamento superficial tradicional, localizado na zona metropolitana da cidade de João Pessoa, no Estado da Paraíba. O autor simulou 4 cenários, com um, dois, três e quatro reservatórios de detenção, os picos de vazão diminuíram em média, para tempos de retorno diferentes, 16,4%, 41%, 53% e 64% respectivamente para cada cenário.

Moreira (2016) comparou, através modelo SWMM, os volumes de escoamento gerados na cidade universitária da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) atualmente, fazendo uso das técnicas convencionais de drenagem, com um cenário idealizado onde estão sendo utilizadas as técnicas de drenagem de baixo impacto (LID). Foram utilizadas as técnicas de pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, células de biorretenção e cisternas. A cidade possui 5,6 km<sup>2</sup> e foi dividida em 19 sub-bacias diferentes. Foi simulado no modelo cenários com chuvas de 2 horas e 24 horas de duração. Os pavimentos permeáveis foram usados em estacionamentos e tiveram sua pior eficiência durante a chuva de 24 horas, mesmo assim reduziu 77,7% o volume de escoamento. As trincheiras de infiltração foram utilizadas ao longo das vias e para a chuva de 2 horas de duração drenou 100% do volume, já para a outra chuva obteve 60% de eficiência. As outras duas técnicas, células de biorretenção e cisternas não tiveram importantes resultados nos cenários simulados.

Assim, podemos ressaltar a importância do planejamento urbano e manejo responsável das águas pluviais, tanto para seu desenvolvimento quanto para a prevenção e tomadas de decisão em situações emergenciais.

Porém é necessária ter confiança no modelo hidrológico que será usado para fazer qualquer estudo, um fator importante para transformar um modelo em confiável é a qualidade dos dados de entrada. Além disso, é significativo encontrar técnicas de drenagem sustentáveis que sejam confiáveis e possíveis, orientando que cada local é diferente, possuindo características diferentes, que necessitam de planejamentos e estudos específicos, para isso deve-se estudar as técnicas. Cumprindo-se esses detalhes consideráveis, a modelagem hídrica e a drenagem sustentável possuem capacidade de prevenir inundações e danos econômicos e humanos e sanar a relação da população com o meio ambiente.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

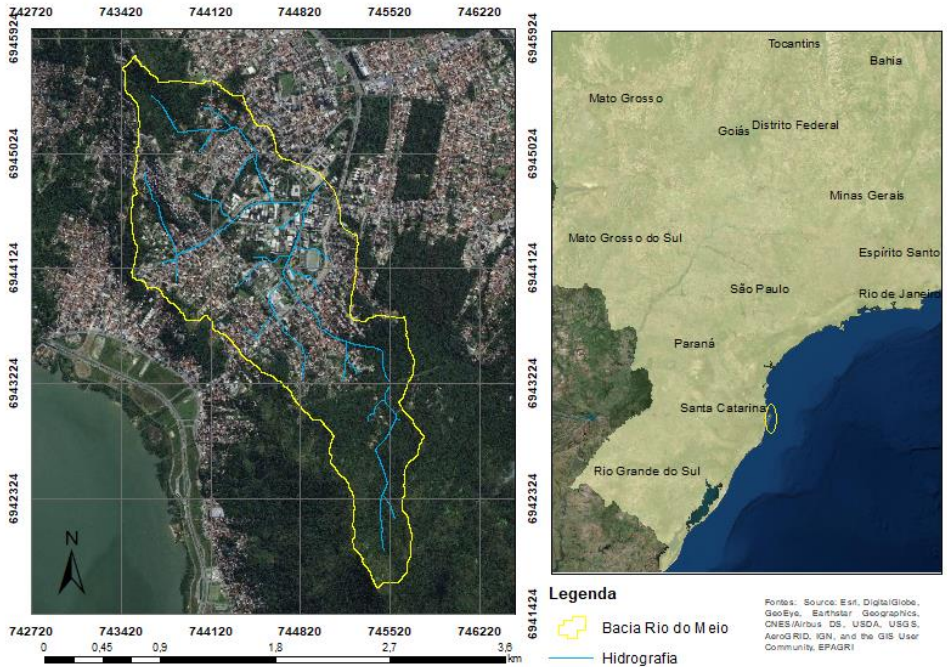
A Bacia Hidrográfica Urbana do Campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina, conhecida como bacia do Rio do Meio se localiza em Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina. O município tem latitude 27°35'49" Sul e longitude 48°32'56" Oeste. Dados do IBGE (2017) indicaram uma população de 485.838 habitantes, com aproximadamente 0,0013 km<sup>2</sup> de área verde por habitante. A cidade possui uma área de 675,4 km<sup>2</sup>, possuindo 12 distritos.

A Bacia Hidrográfica do Rio do Meio se localiza na região Centro-Oeste de Florianópolis. A localização do exutório da bacia fica nas coordenadas UTM (22S) 745.022,527 S e 6.944.815,414 E do sistema de referência SIRGAS 2000 e, sua ocupação é de uso comercial e residencial, possuindo aproximadamente 70% de sua área urbanizada (TOSCANO, 2018).

A hidrografia, constitui o sistema de drenagem natural e é formada pelo rio do Meio e seus afluentes, os rios Serrinha, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul e Carvoeira (MULUNGO, 2012).

A bacia possui aproximadamente 4 km<sup>2</sup> de área, seu rio principal, o Rio do Meio, tem 3,75 km de extensão, seu perímetro é de 14 km e seu exutório está 3 metros acima do nível do mar. A Figura 13 apresenta o mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio.

Figura 13 - Mapa de Localização da Bacia do Rio do Meio



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Bacia do Rio Itacorubi, bacia que abrange a do Rio do Meio, é uma das mais problemáticas da cidade. Isto se deve ao fato de boa parte das ocupações se encontrarem justamente nas áreas mais suscetíveis a inundações (PMF, 2009).

A microdrenagem da região foi construída ao longo dos anos seguindo critérios próprios para o momento de construção, sem uma preocupação com o seu futuro. O resultado destas ações foi um sub dimensionamento da rede de drenagem, principalmente em sua parte mais antiga que necessita de ampliações e melhorias. O lançamento de esgoto e resíduos sólidos na rede também é um ponto crítico para toda esta área, necessitando de ações imediatas para corrigir este problema. (PMF, 2009). A Tabela 1 traz um resumo das características e problemas encontrados na bacia do campus da UFSC.

Tabela 1 - Resumo das Características e Problemas da Bacia do Rio do Meio

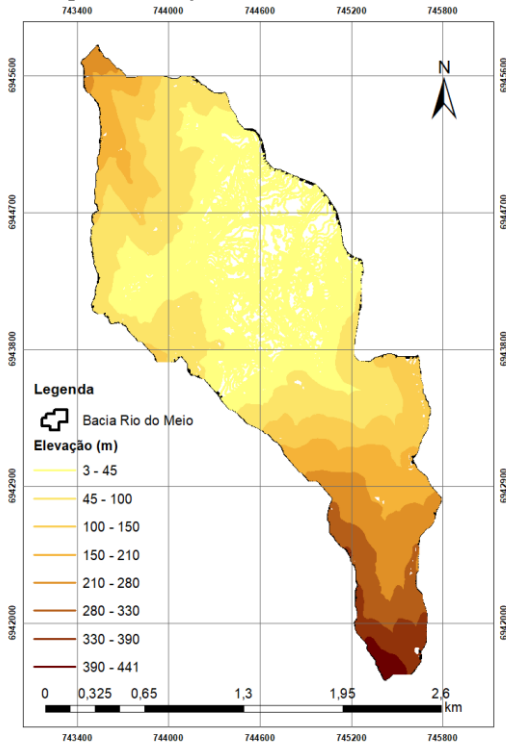
<b>Bacia Hidrográfica do Rio do Meio</b>			
<b>Localização:</b> UFSC até próxima a foz do Rio Itacorubi, grande parte do trecho dentro do Manguezal do Itacorubi.			
<b>Declividade:</b> Baixa		<b>Forma de Seção:</b> Leito Natural	
<b>Manutenção:</b> Satisfatório		<b>Área de Preservação Permanente:</b> Sim	
<b>Influência da Maré:</b> Até o terreno da Universidade Federal			
<b>Projetos para a área:</b> Fazia parte do Plano Global de Drenagem que previa o alargamento e o revestimento das laterais com gabião, porém não executado.			
<b>Problemas Relacionados</b>			
<b>Assoreamento:</b> Sim	<b>Esgoto Doméstico:</b> Sim	<b>Presença de Lixo:</b> Média	<b>Erosão:</b> Sim
<b>Ocupações Irregulares:</b> Não		<b>Impermeabilização do Solo:</b> Alta	

Fonte: Adaptado de PMF (2009)

A precipitação média anual na bacia é de aproximadamente 1690 mm, dados de uma estação pluviométrica sob responsabilidade da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizada no bairro do Itacorubi. Valor próximo ao de Donostia, norte da Espanha, onde Jato-Espino (2016) desenvolveu um trabalho semelhante a este, que apresenta uma precipitação de 1500 mm por ano em uma área de 0,314 km<sup>2</sup>, cerca de 12 vezes menor que a área da Bacia do Rio do Meio.

A Figura 14 apresenta o mapa de elevação do terreno da Bacia do Rio do Meio, criado a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) fornecido pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS), com projeção geográfica SIRGAS 2000.

Figura 14 - Mapa de Elevação da Bacia do Rio do Meio

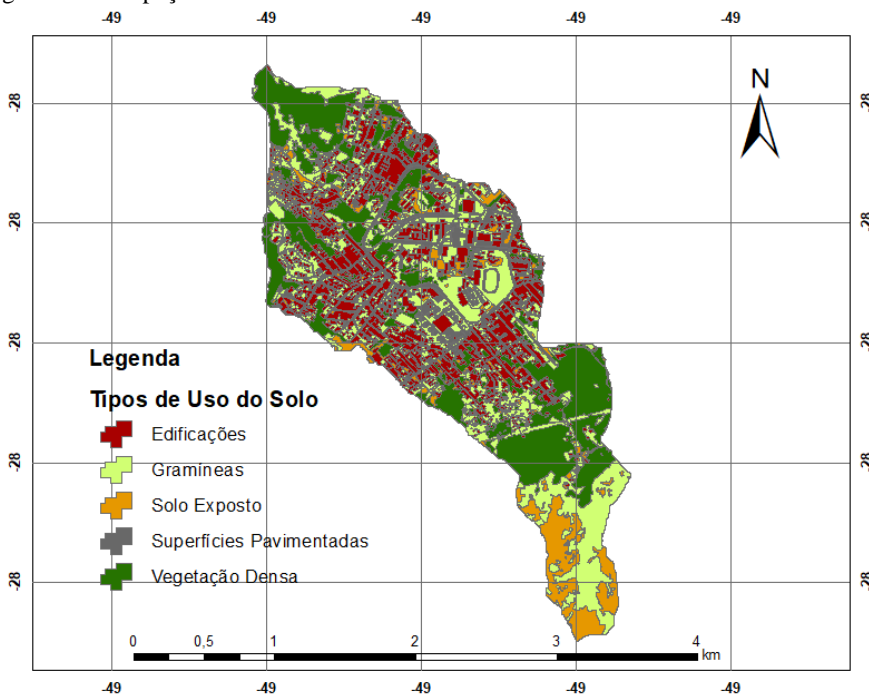


Fonte: Elaborado pelo Autor

A declividade média da bacia é de 25%, sendo as áreas próximas ao exutório mais planas e, as áreas próximas as nascentes dos rios mais íngremes (AQUINO, 2017). O relevo da bacia é bastante variado, classificado pela EMBRAPA (1979) como forte-ondulado. Já que existe declividades entre 20% e 45%. A urbanização na bacia se distribui de acordo com o relevo, mostrando áreas mais densas e urbanizadas próximas ao exutório, visto que possui um relevo mais plano, explicando o desenvolvimento da universidade nessa parcela da bacia.

A Figura 15 mostra como a ocupação e o uso do solo se distribui na Bacia do Rio do Meio para o ano de 2011.

Figura 15 - Ocupação e Uso do Solo na Bacia do Rio do Meio



Fonte: Aquino (2017)

A presença de superfícies impermeabilizadas, como edificações e superfícies pavimentadas, se dá, principalmente, na região central da bacia e próxima ao seu exutório, representando 35,45% da área total. Enquanto que, próximo às nascentes dos rios, faz-se presente uma vegetação mais densa e de gramíneas, com 54,87% de área. Ressalta-se que, apesar da predominância de vegetação na região sul da bacia, existe, ainda, uma certa extensão de área de solo exposto nesta região, 9,68%, sendo responsável por um escoamento superficial acentuado (AQUINO, 2017).

#### 4.2 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO

A realização deste trabalho ocorreu conforme o fluxograma apresentado na Figura 16. Primeiramente, adquiriu-se dados de precipitação e dados espaciais, como o mapa de tipo de solo, o MDT e a ortofoto da bacia, para caracterização espacial da mesma.

Em seguida, realizou-se o geoprocessamento e manipulação dos dados adquiridos para obtenção dos parâmetros de entrada do modelo hidrológico SWMM 5.1. Os parâmetros obtidos a partir do *software ArcGIS 10.5* foram: hidrografia, área das sub-bacias, largura característica das sub-bacias, declividade média das sub-bacias, comprimento dos canais e declividade dos canais utilizados nesse estudo. A partir dos dados de uso e ocupação do solo, disponibilizados por Aquino (2017), e do grupo hidrológico do solo obteve-se o CN, e a porcentagem de área impermeável de cada sub-bacia.

Utilizando bibliografia, foram obtidos os parâmetros de armazenamento em depressões, coeficientes de Manning para os usos de solo das sub-bacias e coeficientes para os canais escolhidos. Com dados disponibilizados pelo Projeto de Desenvolvimento Institucional (PDI) da UFSC, foi possível caracterizar as seções dos canais para esse estudo. Além disso, o PDI também forneceu dados de dois eventos reais de chuva que ocorreram em janeiro de 2018 no campus da UFSC, de grande importância para as simulações no *software* SWMM 5.1.

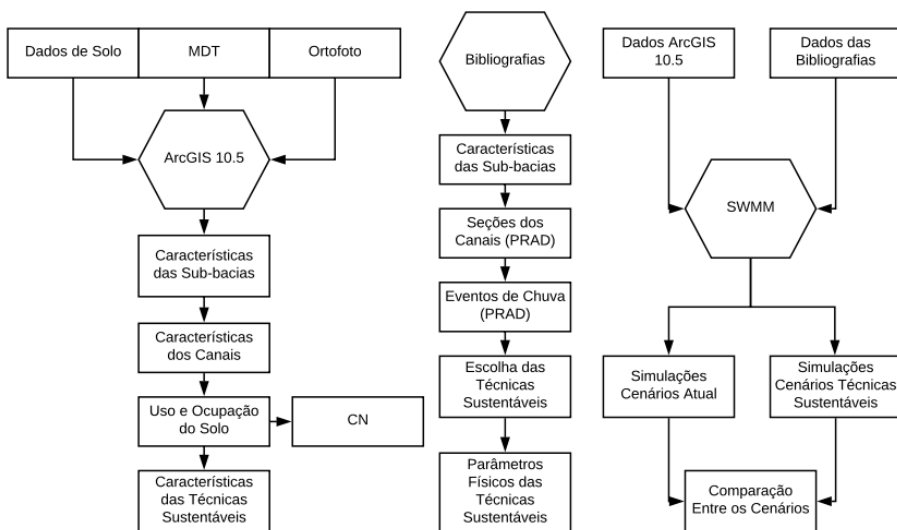
Assim, foi possível simular os dois primeiros cenários desse trabalho, observar o comportamento entre o campus da UFSC e o volume/vazão de escoamento superficial gerado pelos eventos de precipitação.

Após, seguindo bibliografia específica foram escolhidas técnicas sustentáveis realistas e capazes de amenizar o impacto do escoamento superficial no campus da UFSC. Também, foi possível caracterizar as técnicas sustentáveis obtendo parâmetros físicos para alimentar a função *LID Controls* do SWMM 5.1. Os parâmetros restantes foram obtidos com o auxílio do *ArcGIS 10.5*, delineando polígonos que representam as técnicas escolhidas, esses parâmetros são: área, largura e porcentagem de área impermeável tratada das técnicas sustentáveis escolhidas.

Com isso, os dois últimos cenários foram simulados no SWMM, mostrando os resultados que essas técnicas trouxeram de benefício para a drenagem de água pluvial do campus da UFSC.



Figura 16 - Fluxograma Metodológico

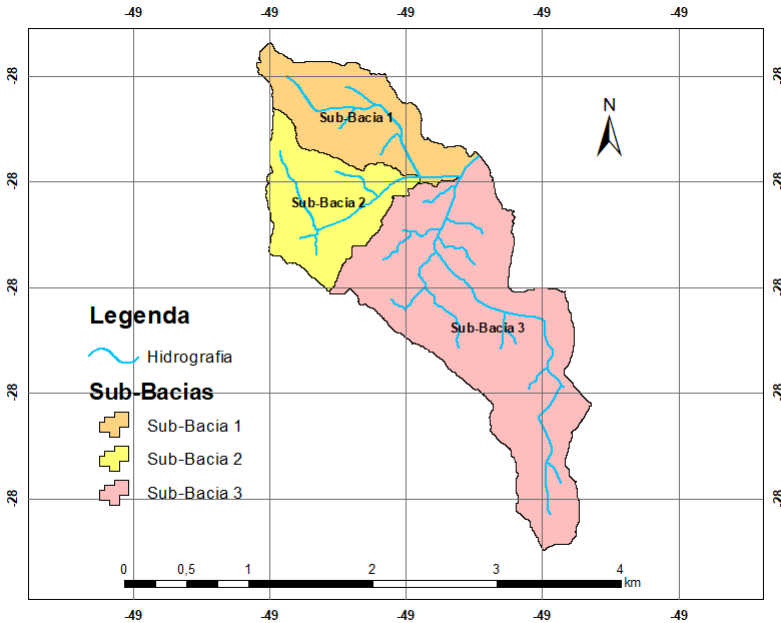


Fonte: Elaborado pelo Autor

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS UTILIZADAS NO SWMM

Neste tópico, são apresentadas todas as propriedades utilizadas no modelo SWMM 5.1 que caracterizam as sub-bacias que foram criadas para a simulação da área de estudo. A Bacia do Rio do Meio foi dividida em três sub-bacias: Sub-bacia do Rio Serrinha (Sub-bacia 1), Sub-bacia do Rio Carvoeira (Sub-bacia 2) e Sub-bacia do Rio do Meio (Sub-bacia 3), como mostrado na Figura 17. Esta divisão foi escolhida em função de que as regiões dessas sub-bacias possuem características diferentes.

Figura 17 - Sub-bacias da Bacia do Rio do Meio



Fonte: Elaborado pelo Autor

Ressalta-se que todas as propriedades descritas a seguir foram necessárias para as simulações neste trabalho.

#### 4.3.1 Características Físicas Gerais das Sub-Bacias

Definiu-se como características físicas gerais de cada sub-bacia os parâmetros de área, largura característica, declividade média, área impermeável e coeficientes de Manning para escoamento superficial, tanto para áreas impermeáveis quanto para áreas permeáveis.

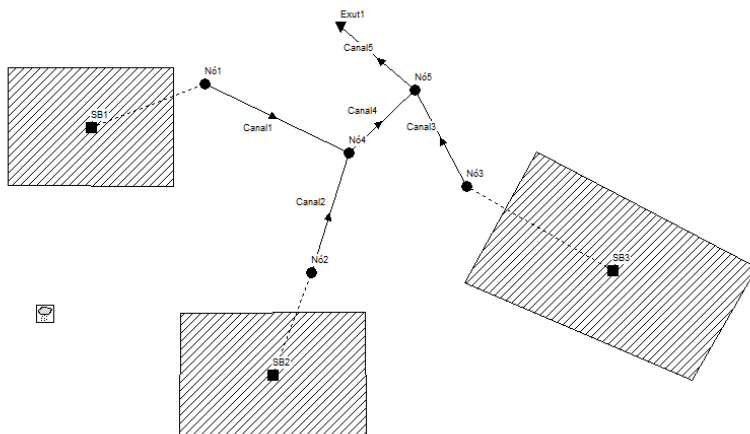
A área de cada sub-bacia, cuja unidade é em hectare no SWMM, foi obtida a partir de informações geográficas com o uso do *software ArcGIS 10.5*.

A largura característica, unidade de entrada em metros, define-se como a área total dividida pelo comprimento do caminho mais longo que possa ser percorrido pela água dentro de uma sub-bacia até chegar ao seu exutório. Essa propriedade é explicada pelo fato do SWMM considerar qualquer sub-bacia retangular, independentemente de seu formato real.

Os valores foram obtidos através da hidrografia das sub-bacias no *ArcGIS 10.5*.

A Figura 18 apresenta como o SWMM identifica e considera as bacias em sua área de trabalho.

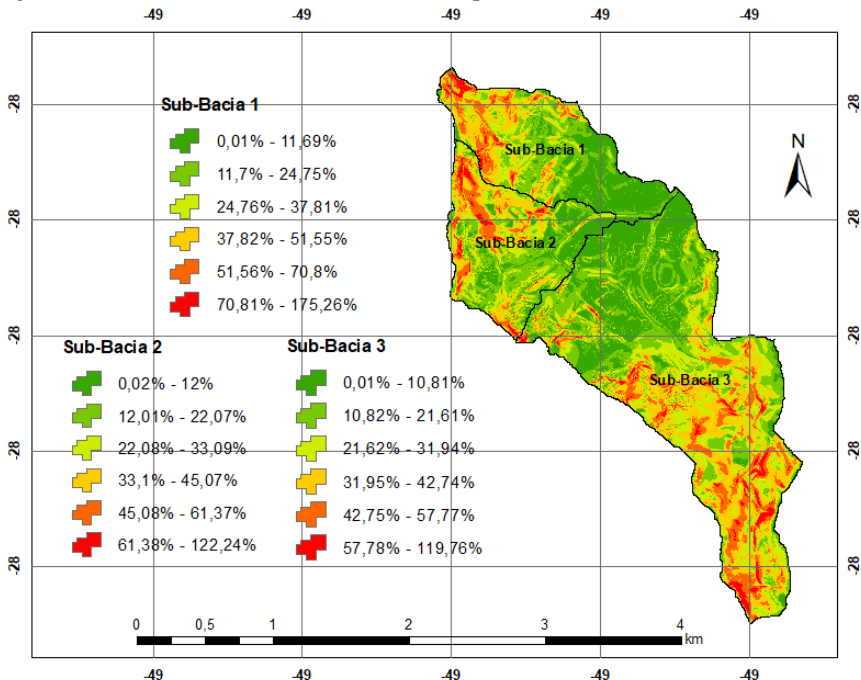
Figura 18 - Sub-bacias Dentro do Software SWMM



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores de declividade das sub-bacias, dados em porcentagem no SWMM, foram extraídos de um MDT, fornecido pelo SDS na escala 1:10.000. Manipulando o MDT no *ArcGIS 10.5*, foi estimada a declividade média de cada sub-bacia. A Figura 19 apresenta as declividades de cada sub-bacia desse estudo.

Figura 19 - Declividade das Sub-bacias do campus da UFSC



Fonte: Elaborado pelo Autor

A área impermeável de cada sub-bacia, também em porcentagem no SWMM, também foi obtida no *ArcGIS 10.5* com imagens georeferenciadas do uso e ocupação do solo de cada sub-bacia.

Os coeficientes de Manning ( $n$ ) para escoamento superficial foram retirados de US EPA (2015) *apud* McCuen *et al.* (1996). Utilizando o uso e ocupação do solo definiu-se um coeficiente de Manning para cada tipo de uso, após isso, foi realizada uma média ponderada entre os coeficientes e a área encontrada para cada uso diferente nas três sub-bacias. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de Manning escolhidos para cada tipo diferente de uso e ocupação do solo.

Tabela 2 - Coeficientes de Manning ( $n$ ) para diferentes superfícies

Tipo de Uso e Ocupação do Solo	$n$
Edificações	0,014
Superfícies Pavimentadas	0,011
Solo Exposto	0,06

Gramíneas	0,15
Vegetação Densa	0,8

Fonte: Adaptado de US EPA (2015) *apud* McCuen *et al.* (1996)

No apêndice A é apresentada a tabela resumo com todas as características físicas das sub-bacias presentes nesse estudo.

### 4.3.2 Uso e Ocupação do Solo

O mapa e as características de ocupação e uso do solo da bacia foram obtidos a partir de informações, dados e arquivos cedidos por Toscano (2018) e Aquino (2017). O material cedido foi trabalhado no *software ArcGIS 10.5*. Seguindo a metodologia de Aquino (2017), a classificação do uso e ocupação do solo deu-se por meio da análise espacial das características da bacia, sendo estas: vegetação densa, gramíneas, pavimentação, solo exposto, e edificações.

#### 4.3.2.1 Método de Infiltração – SCS Curve Number (CN)

O método de infiltração do SCS foi o escolhido para realizar as simulações, pois estima a chuva efetiva como uma função da chuva acumulada, do tipo de solo, da condição de umidade antecedente do solo, e da ocupação e uso do solo, além de indicado para pequenas bacias urbanas (NRCS, 2004). Este método foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) e é um método empírico que estima o volume e a distribuição do escoamento superficial (SARTORI *et al.*, 2005). A chuva excedente, ou não infiltrada, é estimada através da Equação 1:

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S} \quad (1)$$

Onde, Q representa o volume de escoamento superficial em mm, P é a precipitação expressa em mm e S, o potencial máximo de retenção em mm (NRCS, 2004).

O potencial máximo de retenção é função da curva-número (CN), dado pela equação 2:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

O valor de CN varia de acordo com o solo hidrológico e o uso e ocupação do solo encontrados em cada região. Segundo NRCS (2009), tem-se quatro grupos hidrológicos de solo:

- Grupo A: Apresenta baixo potencial de geração de escoamento superficial e a água é transmitida livremente através do solo;
- Grupo B: Apresenta um potencial de geração de escoamento superficial moderadamente baixo e a água é transmitida através do solo de maneira desimpedida;
- Grupo C: Apresenta um potencial de geração de escoamento superficial moderadamente alto e a água é transmitida de uma maneira um pouco restrita através do solo;
- Grupo D: Apresenta um alto potencial de geração de escoamento superficial e a água é transmitida através do solo de maneira restrita ou muito restrita.

Para a bacia do campus da UFSC foi definido, segundo Sartori *et al.* (2005), os grupos de solo B, pois na região há predominância do tipo de solo Podzólico Vermelho-Amarelo Álico. Além disso, considerou-se condição de umidade II, correspondente à situação média em época de cheia.

Com o grupo hidrológico de solo definido, foi possível estipular, pela Figura 20, que fornece os valores de curva-número conforme o tipo hidrológico do solo, seu uso e a condição de umidade antecedente do solo, os valores mais adequados de CN para cada tipo de uso e ocupação encontrado nas sub-bacias do campus.

Figura 20 - Tabela com Valores de CN

Utilização ou cobertura do solo		Grupo de solos			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Floresta: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritório		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m <sup>2</sup> )	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci (2003)

Para a classe vegetação densa foi escolhido o valor de CN de 55, correspondendo a florestas com boas coberturas. O valor de CN para a classe gramíneas foi de 61, número para terrenos baldios em boas condições. As áreas com edificações foram consideradas como telhados e receberam um CN igual a 98, mesmo CN das áreas com pavimentação (vias e estacionamento), sendo pavimentações com drenagem pluvial. A classe de solos expostos foi considerada como áreas de terra e se estabeleceu um CN de 82.

O CN de cada sub-bacia foi obtido pela média ponderada da área respectiva a cada uso do solo e seu valor de CN atribuído por Tucci (1993), conforme apresentado na Equação 3:

$$CN_{sub-bacia} = \frac{\sum_{i=1}^n CN_{classe\ i} \times \text{Área}_{classe\ i}}{\text{Área}_{total}} \quad (3)$$

Onde  $CN_{classe\ i}$  é o valor de CN para cada classe de uso de solo,  $\text{Área}_{classe\ i}$  é a área referente a cada uso de solo na sub-bacia e  $\text{Área}_{total}$  é a área total da sub-bacia.

### 4.3.3 Armazenamento em Depressões

O armazenamento de água em depressões (*Depression Storage*), tanto em áreas permeáveis quanto impermeáveis, é outra propriedade requisitada pelo SWMM. Os valores foram definidos por média ponderada considerando as áreas referentes a cada tipo de ocupação do solo nas sub-bacias. A Tabela 3 exibe os fatores de armazenamento escolhidos para cada tipo de uso e ocupação do solo.

Tabela 3 - Valores do Fator de Armazenamento em Depressões

<b>Tipo de Uso e Ocupação do Solo</b>	<b>Polegadas (pol)</b>
Edificações	0,05
Superfícies Pavimentadas	0,05
Solo Exposto	0,1
Gramíneas	0,2
Vegetação Densa	0,3

Fonte: Adaptado de US EPA (2015) *apud* ASCE (1992)

A percentagem de área impermeável sem armazenamento foi fixada em 25% para todas as três sub-bacias, valor recomendado e padronizado no SWMM pela US EPA (2015). Essa porção representa as áreas da sub-bacia que não permitem o alagamento, como as parcelas das ruas próximas às sarjetas, pavimentos novos, telhados que drenem diretamente para as sarjetas.

## 4.4 CANAIS UTILIZADOS NO ESTUDO

O sistema de drenagem da Bacia do Rio do Meio é composto pelos rios do Meio, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul, Serrinha e Carvoeira. Porém, para as simulações no SWMM, apenas os rios do Meio, Serrinha e Carvoeira foram utilizados, já que são os principais rios que influenciam

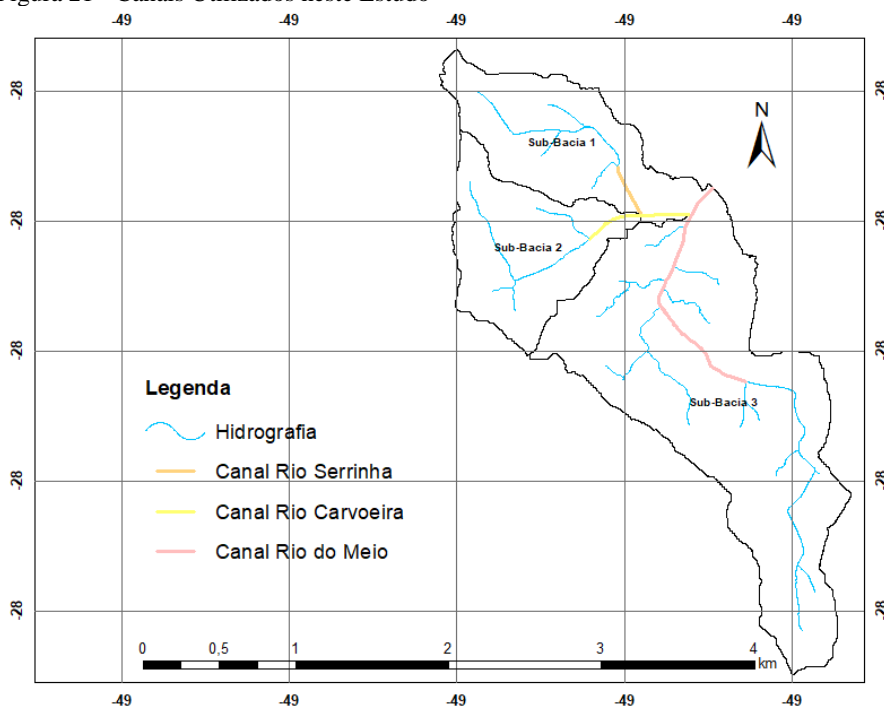


as áreas mais planas da bacia e que continham levantamento das dimensões dos canais de drenagem.

As áreas mais altas da bacia, incluindo as cabeceiras dos rios, não foram levadas em consideração, sendo que, nessas partes, há maior declividade e dificilmente ocorrem inundações e alagamentos. Outra questão é que as simulações ocorreram apenas para os canais abertos da bacia e as cabeceiras dos rios Serrinha e Carvoeira são canalizadas por condutos fechados e subterrâneos. Enquanto a cabeceira do Rio do Meio é um leito de com canal de fundo de concreto e laterais naturais, logo, também não foi considerado para efeito das simulações.

A Figura 21 exibe a hidrografia do sistema de drenagem e, também, em destaque, os trechos de canais utilizados para as simulações. Portanto, esses canais são os que influenciam diretamente o cotidiano da universidade e são os que mais sofrem com sua urbanização.

Figura 21 - Canais Utilizados neste Estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor

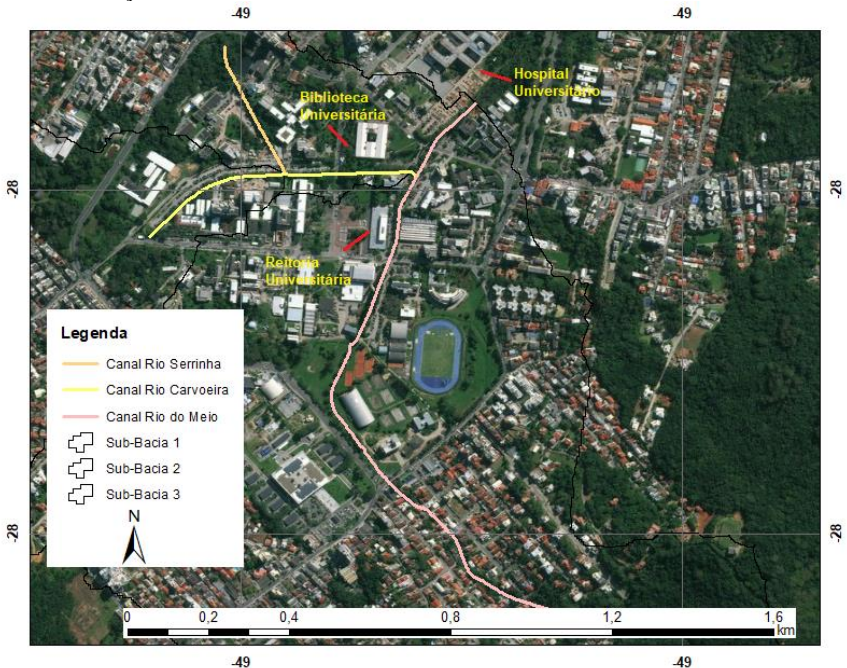
#### 4.4.1 Caracterização Física dos Canais

As três características físicas gerais dos canais para as simulações são as seções transversais de cada canal, o comprimento de cada canal e a cota de elevação em relação ao nível do mar de cada nó de cada canal.

A definição de nó pode ser explicada como o "início" e "fim" de um canal. Portanto cada canal possui um nó inicial, assim, quando um canal encontra outro forma-se outro nó, sendo que o último nó da bacia é denominado exutório. Para uma melhor compreensão é interessante observar a Figura 21 (hidrografia com os canais) e a Figura 18 (bacia SWMM), nelas é possível observar os nós iniciais de cada trecho e a geração de novos nós quando canais se encontram (encontro do Rio Serrinha e Rio Carvoeira e o encontro do Rio Carvoeira e Rio do Meio).

Utilizando um modelo digital de terreno, a hidrografia da bacia e o *software ArcGIS 10.5*, o comprimento e as cotas dos canais foram obtidos. A Figura 22 mostra uma melhor localização dos canais.

Figura 22 - Localização dos Canais Utilizados no Estudo



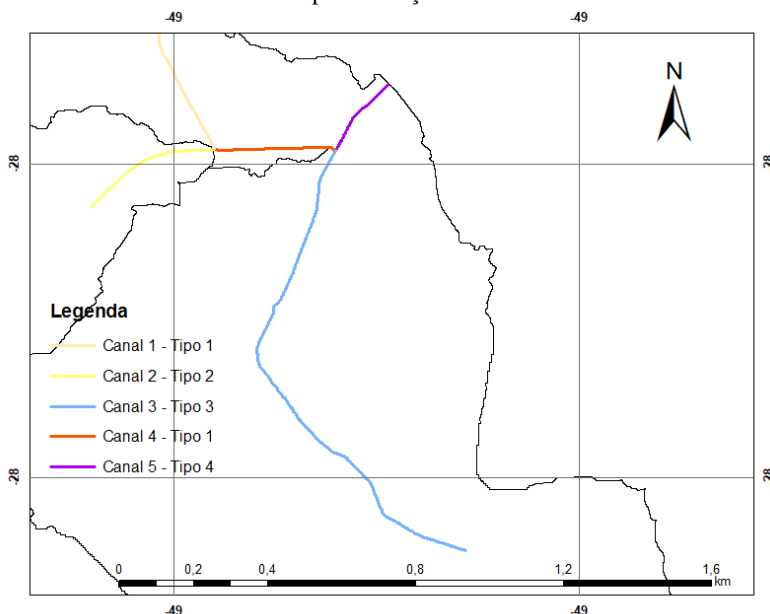
Fonte: Elaborado pelo Autor

Os canais podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os cursos d'água encontrados no ambiente, como: córregos, rios, estuários. Os artificiais são os construídos pelo homem, como: canais de irrigação, de drenagem pluvial, aquedutos. Ainda, podem ser classificados como prismáticos, se ao longo de seu curso possuem seção reta e declividade de fundo constante, ou não prismáticos se possuem seção irregular e declividade de fundo variável (PORTO, 2003).

As seções transversais dos canais foram conseguidas a partir de dados cedidos pelo Projeto de Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima (PDI), desenvolvido no Núcleo de Estudos da Água (NEA). O projeto possui estações de monitoramento de nível de água nos três canais, equipadas com sensores de nível de pressão. Os canais escolhidos para as simulações são canais retangulares, possuem quatro tipos de seções diferentes e têm níveis de água praticamente constantes em épocas sem chuva. Todos os canais contêm fundo de concreto e laterais de pedra.

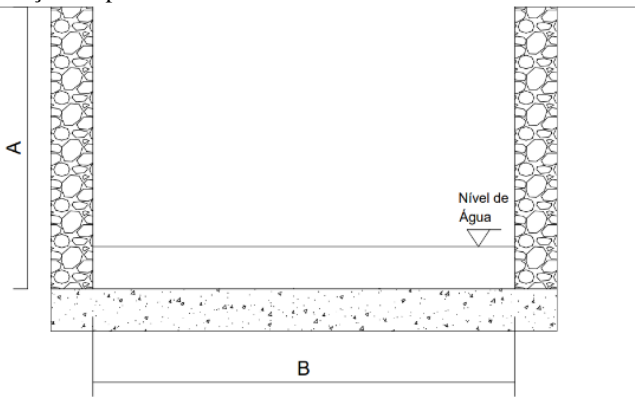
A Figura 23 apresenta os canais utilizados e seus tipos de seção e a Figura 24 mostra como são as seções tipo dos canais.

Figura 23 - Canais e seus Diferentes Tipos de Seção



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 24 - Seções Tipo



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para se ter simulações mais próximas da realidade, como os canais possuem níveis constante de água, essa altura de nível de água foi retirada da altura total dos canais, gerando assim uma altura útil para cada canal. Os dados de nível de altura de água também foram cedidos pelo PDI. A Tabela 4 mostra as dimensões de cada seção tipo.

Tabela 4 - Dimensões das Seções Tipo

Canal	Tipo	A (m)	B (m)	Nível de Água (m)	A <sub>útil</sub> (m)
Canal 1	Tipo 1	1,2	2,06	0,15	1,05
Canal 2	Tipo 2	1	1,5	0,2	0,8
Canal 3	Tipo 3	1,75	3,28	0,13	1,62
Canal 4	Tipo 1	1,2	2,06	0,1	1,1
Canal 5	Tipo 4	1,8	6,16	0,4	1,4

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.4.2 Coeficiente de Rugosidade de Manning

O coeficiente de rugosidade é importante para calcular a capacidade de escoamento de um canal, e também tem grande importância para as simulações do SWMM. O valor do fator de rugosidade dos canais varia valor dependendo do material que o canal é feito, se há irregularidades, se manutenções são realizadas, se existe sedimentos e/ou vegetação nos canais.

Determinar o coeficiente de Manning implica em estimar a resistência ao escoamento no canal e, por não ser um método exato, pode se tornar uma tarefa complicada (CHOW, 1959). Para determinar os coeficientes de rugosidade de Manning dos canais escolhidos para este estudo, foi utilizado uma tabela com valores aproximados que variam de acordo com o tipo de canal e a qualidade do estado do mesmo.

Com o objetivo de obter valores próximos da realidade uma visita de campo aos canais foi realizada, além disso, o PDI cedeu relatórios que continham descrições do estado de cada canal e fotografias. Assim, a Tabela 5 foi criada, considerando os canais com fundo de concreto (ou com fundo ocupado por areia) e paredes de pedras.

Tabela 5 - Coeficientes de Manning dos Canais das Sub-bacias

<b>Canais</b>	<b>n</b>
Canal 1	0,015
Canal 2	0,025
Canal 3	0,025
Canal 4	0,015
Canal 5	0,03

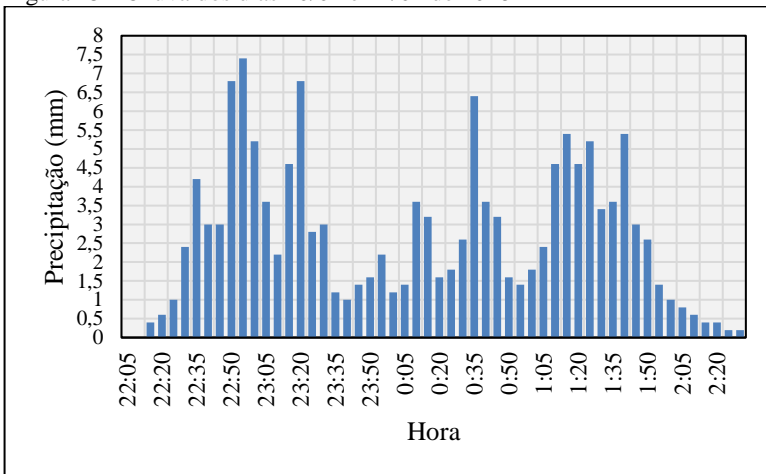
Fonte: Adaptado de US EPA (2015) *apud* ASCE (1992)

#### 4.5 PRECIPITAÇÕES UTILIZADAS NO ESTUDO

Foram utilizadas, nas simulações, duas chuvas reais que ocorreram em janeiro de 2018, na região da universidade com durações de 4 horas e 30 minutos e de 3 horas. A primeira chuva ocorreu da noite de 10/01/2018 até a madrugada de 11/01/2018 e teve uma precipitação total de 143 mm. Já a segunda, teve uma intensidade menor, precipitação total de 31,6 mm, e ocorreu da noite de 16/01/2018 até a madrugada de 17/01/2018.

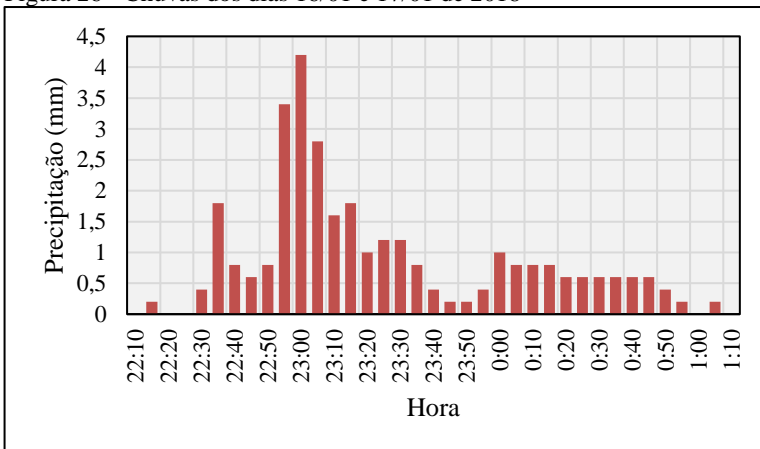
Os dados de chuva foram adquiridos no portal *online* do NEA, e o PDI possui um pluviógrafo próximo à Biblioteca Universitária da UFSC. Durante o evento de maior intensidade, o canal extravasou a seção do exutório. A Figura 25 e Figura 26 mostram os hietogramas das precipitações.

Figura 25 - Chuva dos dias 10/01 e 11/01 de 2018



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 26 - Chuvas dos dias 16/01 e 17/01 de 2018



Fonte: Elaborado pelo Autor

As chuvas de projeto são inseridas no software SWMM a partir de uma estação pluviométrica (*Rain Gage*) que atua de forma uniforme nas sub-bacias. Com isso, foi possível simular os dois primeiros cenários deste trabalho: a situação da drenagem atual no campus da universidade.

## 4.6 CARACTERIZAÇÃO DAS TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS ESCOLHIDAS

Dentro do SWMM, as técnicas de drenagens sustentáveis (*LID Controls*) são representadas como uma sobreposição de camadas verticais, cujas características são definidas por unidade de área. Sendo assim, esta seção dedica-se a especificar e caracterizar cada técnica utilizada. As técnicas possuem diferentes camadas constituintes, ou seja, parâmetros físicos das *LIDs*. As técnicas sustentáveis escolhidas e seus respectivos parâmetros caracterizados são:

- Pavimento Permeável: Camada de Superfície, Camada de Pavimento, Camada de Armazenamento;
- Telhados Verdes: Camada de Superfície, Camada de Solo, Camada de Material Drenante;
- Jardins de Chuva: Camada de Superfície, Camada de Solo, Camada de Armazenamento.

### 4.6.1 Pavimentos Permeáveis

Pavimentos permeáveis são técnicas de redução de área impermeável que diminuem obrigação da gestão de águas pluviais no local do projeto. Essa técnica trata áreas impermeáveis sem necessitar de novas áreas construtivas, como as técnicas serão implantadas em um campus universitário já desenvolvido ela foi escolhida.

Esse método de infiltração de águas pluviais fornece uma superfície de sustentação estável sem aumentar a área impermeável. Existem duas categorias principais de pavimentos permeáveis: concreto permeável e asfalto permeável, que são derramados no lugar, e pavimentos permeáveis, que são unidades discretamente instaladas (*City of Portland*, 2016).

Asfalto permeável, concreto permeável e pavimentos permeáveis podem ser usados em praticamente todas as áreas de pedestres, como calçadas, em vias residenciais e em estacionamentos comerciais. Asfalto e concreto permeáveis poderão ser utilizados em vias de maior fluxo de tráfego após análises de engenheiros capacitados, portanto seu uso depende de cada caso (*City of Portland*, 2016).

A Figura 27 mostra um estacionamento com pavimento permeável.

Figura 27 - Estacionamento com Pavimento Permeável



Fonte: Branco (Acesso em 2018)

#### 4.6.2 Telhados Verdes

Também chamado de telhado ecológico, é um sistema com vegetação de baixo a médio crescimento e tolerantes à seca, que contém material impermeabilizante. Telhados verdes reduzem as taxas de escoamento e reduzem o volume de escoamento em, pelo menos, 50%. Ajudam a mitigar as temperaturas mantendo os telhados resfriados e retendo a maior parte do escoamento durante os períodos secos (*City of Portland, 2016*).

Aproximadamente 45% das superfícies impermeáveis em áreas urbanas são telhados não utilizados, portanto os telhados ecológicos podem ser alternativas interessantes para a redução do escoamento superficial. Graças à capacidade de armazenamento de água, telhados verdes podem reduzir significativamente o pico de escoamento de eventos de precipitação (MENTENS, 2005).

De acordo com Mentens (2005), a redução das taxas de escoamento consiste em:

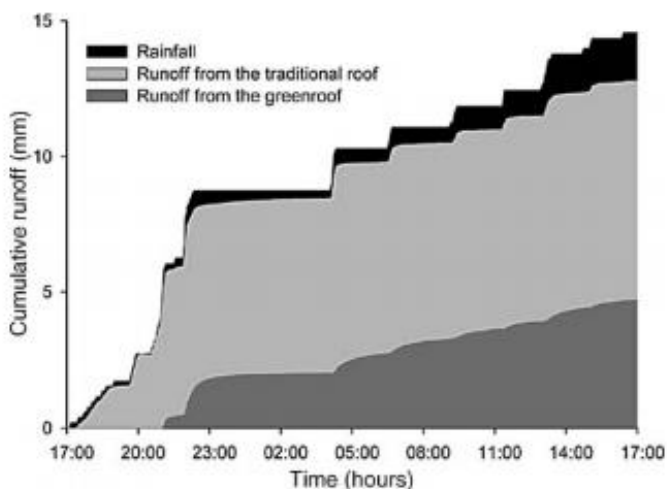
- Atrasar o tempo inicial de escoamento devido à absorção de água no sistema de telhado verde;
- Reduzir o escoamento total retendo parte da chuva;



- Distribuir o escoamento ao longo de um longo período de tempo através de uma liberação lenta do excesso de água que é armazenado temporariamente.

A Figura 28 apresenta a diferença de escoamento entre um telhado convencional e um telhado verde, levando em conta o mesmo evento de precipitação em Leuven, Bélgica.

Figura 28 - Escoamento em Telhado Convencional x Telhado Verde



Fonte: Mentens (2005)

Um método de drenagem deve ser fornecido ao sistema. A camada de drenagem pode incluir tecido geotêxtil, cascalho, ou ser o próprio meio de crescimento da vegetação. Telhados verdes não são um sistema completo de eliminação de águas pluviais e precisam de um sistema de drenagem convencional para gerenciar o excesso de escoamento do telhado (*City of Portland, 2016*).

A Figura 29 traz um telhado verde em uma região litorânea, mostrando que essa técnica beneficia e eleva a qualidade estética do seu entorno.

Figura 29 - Telhado Verde Região Litorânea



Fonte: ECOTELHADO; Poletto (Acesso em 2018)

#### 4.6.3 Jardins de Chuva

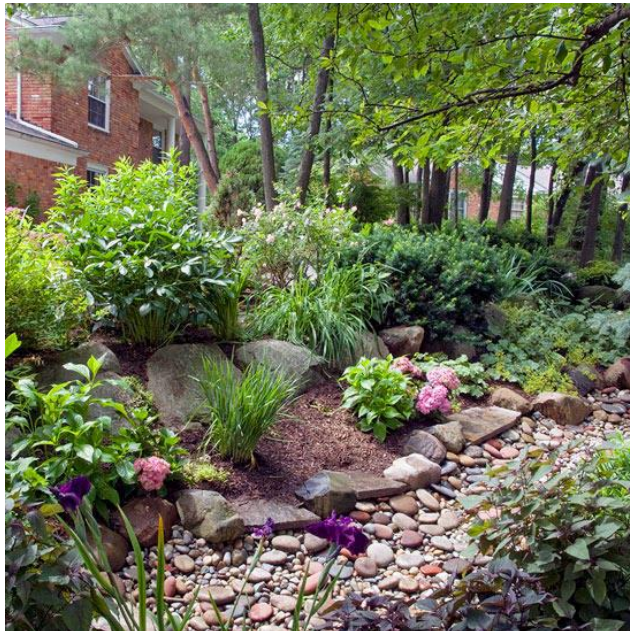
Jardim de chuva é um tipo de célula de biorretenção que consiste apenas na camada de solo projetado sem cama de cascalho abaixo dele (USEPA, 2015).

Segundo WI DNR (2003), ao reduzir o escoamento de águas pluviais, os jardins de chuva podem ser alternativas valiosas para reduzir as tendências convencionais. Enquanto um jardim de chuva individual pode parecer relativamente pequeno, coletivamente eles produzem benefícios ambientais para comunidade. Jardins de chuva trabalham de várias formas:

- Aumentando a quantidade de água que se filtra no solo, o que recarrega aquíferos locais e regionais;
- Ajudando a proteger as comunidades de problemas de inundação e drenagem;
- Ajudam a proteger a hidrografia local de poluentes transportados pela chuva como, fertilizantes e pesticidas, óleo e outros fluidos que vazam de carros, e numerosas substâncias nocivas que são "lavadas" de telhados e áreas pavimentadas;
- Melhorando a beleza dos pátios e bairros;
- Fornecem habitat valioso para pássaros, borboletas e muitos insetos benéficos.

A Figura 30 apresenta um jardim de chuva em uma área em comum de um condomínio de casas.

Figura 30 - Jardim de Chuva em um Condomínio



Fonte: Roberson (Acesso em 2018)

#### 4.6.4 Camadas Constituintes das *LID Controls*

A camada de superfície é utilizada nos pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins de chuva. Ela é a camada superior de qualquer dispositivo sustentável. Ela constitui o padrão superficial dos dispositivos através de 4 parâmetros diferentes. *Berm Height* (altura de berma), define a altura que a água poderá ocupar acima do dispositivo antes de extravasar. *Vegetation Volume Fraction* (fração do volume de vegetação do dispositivo), representa o volume de galhos e folhas sobre o mesmo, e não sua cobertura vegetal. Este parâmetro constitui um fator de impedimento à infiltração da água para as camadas inferiores, pois reduz a área em que o solo pode absorver o escoamento livremente. Os outros dois parâmetros são *Roughness (Manning's n)* e *Surface Slope*, que são o coeficiente de rugosidade de Manning e a declividade da superfície (USEPA, 2015).

A camada de solo é utilizada nos telhados verdes e jardins de chuva. Representa as características do solo utilizado nas técnicas de LID, onde se estabelece a vegetação (MOREIRA, 2016).

A camada de armazenamento é parâmetro para pavimentos permeáveis e jardins de chuva. É a camada através da qual os dispositivos realizam a retenção efetiva da água captada e infiltrada pelas camadas superiores, e promovem a sua infiltração ao solo natural adjacente. É composta comumente por material britado em razão do seu elevado volume de vazios, fornecendo grande volume de armazenamento e garantindo facilidade no movimento da água dentro da camada (MOREIRA, 2016).

Exclusiva dos dispositivos de pavimento permeável, a camada de pavimento, é configurada de forma diferente de acordo com o tipo de pavimento utilizado (US EPA, 2015).

A camada de material drenante caracteriza como a drenagem será realizada e por qual tipo de material. Por motivos de dados confiáveis, apenas a técnica de telhado verde teve parâmetros alterados, enquanto que, para pavimentos permeáveis e jardins de chuva, manteve-se os padrões sugeridos pela USEPA (2015).

A Tabela 6 apresenta um resumo com todas as técnicas, camadas e seus respectivos valores utilizadas nesse trabalho.

Tabela 6 - Resumo Parâmetros das Técnicas Sustentáveis Utilizadas

<b>Técnica</b>	<b>Camada</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Pavimento Permeável	de Superfície	Rugosidade de Manning (n)	0,02
		Pavimento	Espessura (mm)
	Razão de Vazios (Vazios/Sólidos)		0,2
	Permeabilidade (mm/h)		254
	Armazenamento	Espessura (mm)	300
		Razão de Vazios (Vazios/Sólidos)	0,6
		Taxa de Infiltração (mm/h)	3,3
Telhado Verde	Superfície	Fração de Volume de Vegetação	0,5
		Rugosidade de Manning (n)	0,15
	Solo	Espessura (mm)	100
		Porosidade	0,5

		Capacidade de Campo	0,2
		Ponto de Decaimento	0,1
		Condutividade (mm/h)	12,7
		Inclinação de Condutividade	10
		Cabeça de Sucção (mm)	88,9
	Material Drenante	Espessura (mm)	10
		Fração de Vazios	0,75
		Rugosidade de Manning (n)	0,03
Jardim de Chuva	Superfície	Altura de Berma (mm)	500
		Fração de Volume de Vegetação	0,75
		Rugosidade de Manning (n)	0,4
		Declividade da Superfície (%)	12
	Solo	Espessura (mm)	900
		Porosidade	0,5
		Capacidade de Campo	0,2
		Ponto de Decaimento	0,1
		Condutividade (mm/h)	20
		Inclinação de Condutividade	30
		Cabeça de Sucção (mm)	100
	Armazenamento	Taxa de Infiltração (mm/h)	1,5

Fonte: Adaptado de City of Portland (2016), Jato-Espino (2016), Mentens (2005), US EPA (2015) e WI DNR (2003)

#### 4.7 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Neste trabalho, foram considerados quatro cenários de simulação.

Os dois primeiros cenários (Cenários A e B) são referentes à configuração atual do campus da UFSC, onde foi considerado que todo escoamento gerado seria direcionado à rede de drenagem existente e aos córregos que permeiam o campus universitário. Portanto, foi desconsiderado a existência de dispositivos que pudessem atuar na amenização do escoamento superficial.

Os cenários C e D se referem a uma configuração idealizada da área de estudo, onde foram utilizadas técnicas de drenagem sustentáveis

já descritas e caracterizadas anteriormente para diminuir o escoamento superficial inconveniente. Nesta situação, dentro do SWMM, a única diferença entre as propriedades das três sub-bacias, entre os cenários A e B e C e D, é a própria existência das técnicas sustentáveis no espaço, não alterando, por exemplo, o parâmetro de impermeabilidade da bacia.

A partir destes quatro cenários foram simulados o comportamento das sub-bacias e seus canais em função de duas chuvas reais diferentes, as chuvas dos dias 10 e 11 de janeiro de 2018 e 16 e 17 de janeiro de 2018, para que, assim, pudessem ser comparadas as diferenças na geração de escoamento superficial.

#### **4.7.1 Caracterização dos Cenários A e B**

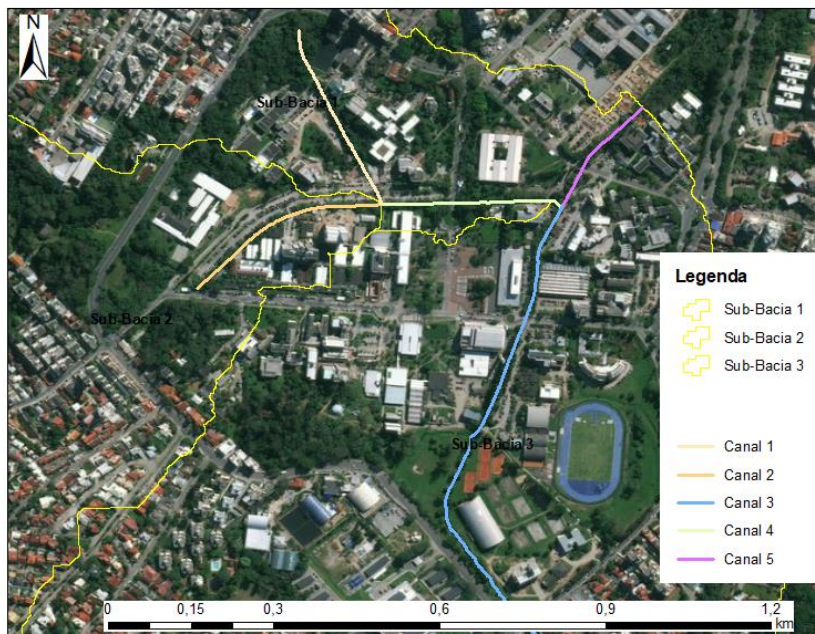
Como já mencionado no item anterior, os cenários A e B correspondem à situação atual do campus da UFSC, portanto nenhuma técnica sustentável foi inserida nestes dois cenários.

O cenário A foi simulado com o evento de chuva ocorrido entre os dias 10 e 11 de janeiro de 2018, com precipitação total de 143 mm e duração de 4,5 horas.

O cenário B foi simulado com o evento de chuva ocorrido entre os dias 16 e 17 de janeiro de 2018, com precipitação total de 31,6 mm e duração de 3 horas.

A Figura 31 apresenta o campus da UFSC atualmente, contido na Bacia Hidrográfica do Rio do Meio e os canais utilizados para a simulação.

Figura 31- Campus Atualmente e Seus Canais



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.7.2 Caracterização dos Cenários C e D

Como já mencionado no item 4.7, os cenários C e D correspondem ao campus da UFSC com técnicas sustentáveis de drenagem afim de amenizar o impacto do escoamento superficial.

As técnicas escolhidas (Pavimentos Permeáveis, Telhados Verde e Jardins de Chuva) foram consideradas realistas, ou seja, com possível implementação se houver interesse da universidade em investir nessa área.

Cada sub-bacia possui quantidade e técnicas diferentes. A Sub-bacia 1 (Sub-bacia do Rio Serrinha), possui no total três técnicas, dois estacionamentos com pavimento permeável e um telhado verde, essas técnicas correspondem à 0,025 km<sup>2</sup> de área. A Sub-bacia 2 (Sub-bacia do Rio Carvoeira), bem urbanizada, possui ao todo, sete técnicas, sendo discriminadas em dois estacionamentos permeáveis, dois telhados verde e três jardins de chuva, gerando uma área total de 0,029 km<sup>2</sup>. Já a Sub-bacia 3 (Sub-bacia do Rio do Meio), maior sub-bacia da Bacia do Rio do

Meio, também conta com sete técnicas em sua área, com quatro estacionamentos de pavimento permeável e três telhados verde e uma área total de 0,018 km<sup>2</sup>.

A Tabela 7 a seguir apresenta as técnicas utilizadas em cada bacia, sua área e a porcentagem de área impermeável tratada pela técnica.

Tabela 7 - Características Físicas das Técnicas Sustentáveis de Cada Sub-bacia

Sub-bacias	Técnica	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	Área Impermeável Tratada (%)
Sub-bacia 1	Estacionamento CFM-CSE	15674	315,66	63,17
	Estacionamento CCJ	4160	64,78	16,77
	Telhado Verde BU	4980	81,64	100
Sub-bacia 2	Estacionamento EFI-CSE	8590	312,57	30,00
	Estacionamento CFH	4444	272,19	15,52
	Telhado Verde Aplicação	6656	81,60	100
	Telhado Verde EFI	651	12,32	100
	Jardim de Chuva EFI	1994	34,12	6,96
	Jardim de Chuva Aplicação	2835	39,92	9,90
	Jardim de Chuva Carvoeira	3465	73,77	12,10
Sub-bacia 3	Estacionamento RU	2602	87,55	14,40
	Estacionamento CDS	5169	191,76	28,60
	Estacionamento CETEC	1051	59,62	5,81
	Estacionamento ENS	3251	141,92	17,99
	Telhado Verde RU	1928	61,96	100
	Telhado Verde Reitoria	3595	103,52	100
	Telhado Verde ENS	479	25,85	100

Fonte: Elaborado pelo Autor

O cenário C foi simulado com o evento de chuva ocorrido entre os dias 10 e 11 de janeiro de 2018, com precipitação total de 143 mm e duração de 4,5 horas.

O cenário D foi simulado com o evento de chuva ocorrido entre os dias 16 e 17 de janeiro de 2018, com precipitação total de 31,6 mm e duração de 3 horas.



A Figura 32 apresenta o campus da UFSC com as técnicas sustentáveis idealizadas, contido na Bacia Hidrográfica do Rio do Meio e os canais utilizados para a simulação.

Figura 32 - Campus da UFSC com Técnicas Sustentáveis



Fonte: Elaborado pelo Autor

Nos apêndices B e C se encontram as tabelas com os dados de chuva utilizados para estes cenários.



## 5 RESULTADOS

### 5.1 DETERMINAÇÃO DO CN DOS CENÁRIOS A E B

Os valores de CN foram obtidos seguindo a metodologia dos itens 4.2.3 e 4.2.3.1, o mapa de uso do solo (Figura 15) e os valores de CN para tipos de uso e solo diferentes (Figura 20).

Para a Sub-bacia 1 e Sub-bacia 3, do rio do Meio, os tipos de uso de solo predominantes são gramíneas e vegetação densa. Consequentemente, ambas sub-bacias possuem os menores valores de CN, equivalentes a, respectivamente, 73 e 74, valores ainda considerados altos, típicos de bacias urbanas. A Sub-bacia 2, do rio Carvoeira, é considerada como a mais urbanizada, com 43,08 % de sua área constituída por superfícies impermeabilizadas, representada por edificações, estacionamentos e vias asfaltadas. Dessa forma, a SB-2 é a que possui o maior valor de CN, equivalente a 78.

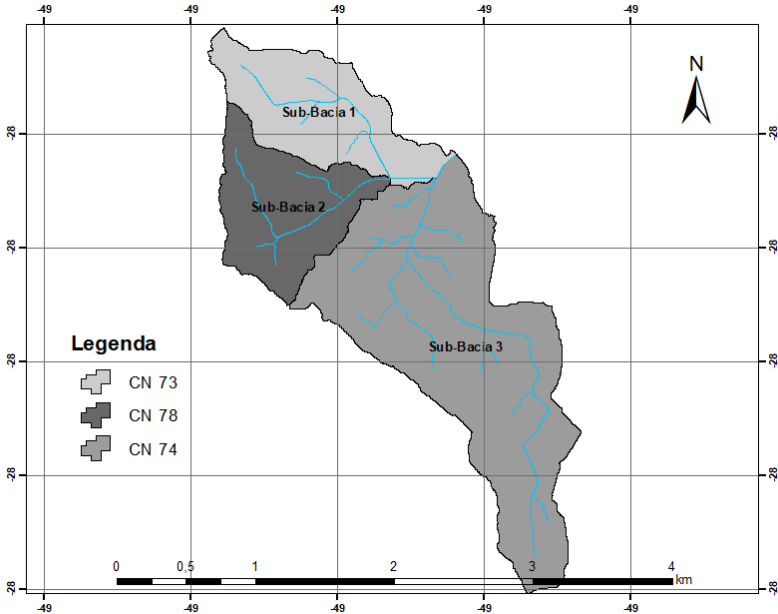
A Tabela 8 e a Figura 33 apresentam as porcentagens de área correspondentes para cada tipo de uso e ocupação do solo para cada sub-bacia e seus respectivos CN.

Tabela 8 - CN das Sub-bacias Estudadas

Classe	Área (%)		
	SB-1	SB-2	SB-3
<b>Vegetação Densa</b>	35,75	24,98	24,43
<b>Gramíneas</b>	23,71	23,54	30,91
<b>Solo Exposto</b>	5,60	4,74	12,73
<b>Edificações</b>	22,54	32,03	20,36
<b>Superfícies Pavimentadas</b>	12,39	14,71	11,56
<b>Total</b>	100	100	100
<b>CN</b>	73	78	74

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 33 - CN das Sub-bacias Atualmente



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 5.2 RESULTADOS DO SWMM PARA OS CENÁRIOS A E B

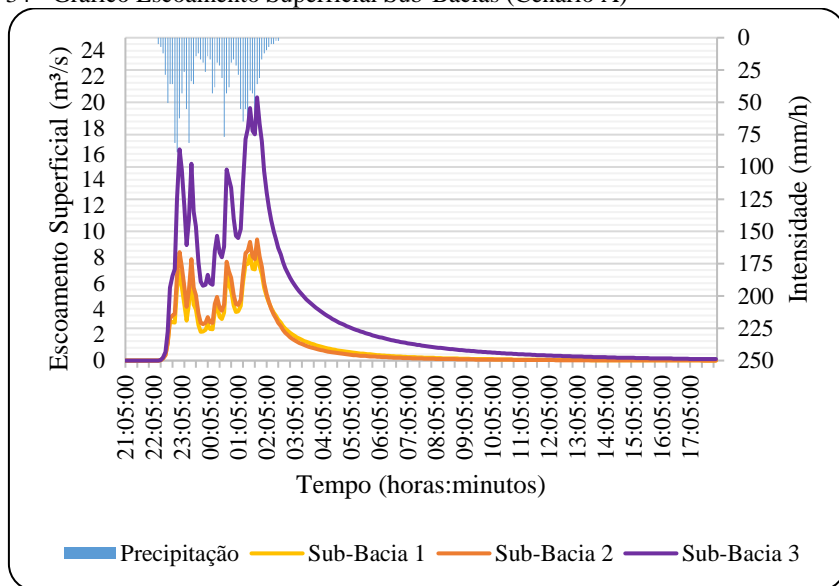
Neste item, os resultados das simulações realizadas no SWMM, para os cenários A e B são apresentados e discutidos.

### 5.2.1 Cenário A

A simulação realizada para o cenário A utilizou o evento de chuva dos dias 10 e 11 de janeiro de 2018 (143 mm) e não conta com técnicas de drenagem sustentável.

A Figura 34 apresenta um gráfico com a intensidade de precipitação e o escoamento superficial gerado em cada sub-bacia estudada nesse trabalho.

Figura 34 - Gráfico Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário A)



Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível perceber que as curvas de escoamento superficial das sub-bacias seguem um comportamento esperado, com picos de precipitação seguidos de picos de vazão, e diminuição da precipitação, seguida de recessão nos hidrogramas. As sub-bacias 1 e 2 possuem áreas pequenas e semelhantes, e apresentaram curvas semelhantes.

O *software* SWMM simula os eventos de precipitação de forma uniforme, ou seja, possui a mesma intensidade e a mesma duração em todas as três sub-bacias

Destaca-se a diferença e deslocamento dos picos de vazão da Sub-Bacia 3, em relação às outras sub-bacias. Esta, é a maior delas, com aproximadamente 2,39 km<sup>2</sup>, enquanto as Sub-Bacias 1 e 2 possuem 0,83 e 0,78 km<sup>2</sup> de área, respectivamente.

Apesar de a Sub-Bacia 2 ser a de menor área, ela possui picos de vazão maiores que a Sub-Bacia 1. Isso se deve pela maior porcentagem de urbanização e área impermeabilizada encontrada na sub-bacia 2.

A Tabela 9 apresenta um resumo de informações da simulação do cenário A.

Tabela 9 - Resumo Informações Simulação (Cenário A)

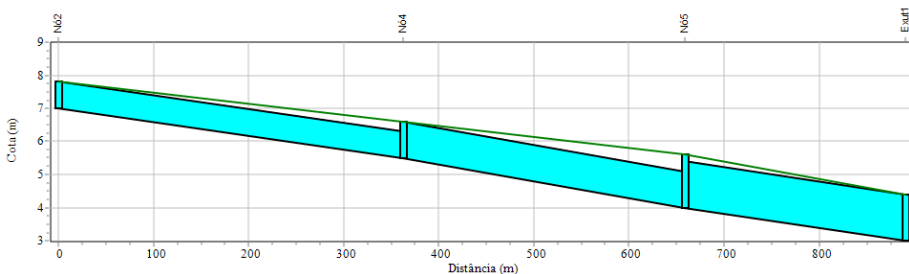
Sub-Bacia	Vol. Infiltração (m <sup>3</sup> )	Vol. Escoamento (m <sup>3</sup> )	Pico de Escoamento (m <sup>3</sup> /s)
Sub-Bacia 1	33.879,73	85.041,79	8,54
Sub-Bacia 2	21.527,25	90.062,18	9,38
Sub-Bacia 3	98.097,72	235.882,93	20,38
Bacia Total	153.504,70	410.986,90	20,38

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com as informações contidas é possível afirmar que, por ser mais urbanizada, a Sub-Bacia 2 sofre maior impacto das chuvas, mesmo possuindo menor área que a Sub-Bacia 1. Enquanto o volume de escoamento e o pico de escoamento da SB-1 são 85.041,79 m<sup>3</sup> e 8,54 m<sup>3</sup>/s, os valores da SB-2 são relativamente maiores, 90.062,18 m<sup>3</sup> e 9,38 m<sup>3</sup>/s. A SB-3 possui o maior volume de infiltração, pois ela é a maior sub-bacia e apresenta maior porcentagem de área permeável (68%), apesar da grande área permeável, o volume de escoamento, 235.882,93 m<sup>3</sup>, é alto. Fato explicado pela contribuição de escoamento superficial das sub-bacias 1 e 2 para a sub-bacia do Rio do Meio, já que nela está localizado o ponto exutório da Bacia do Rio do Meio.

Outro resultado gerado pelo SWMM é o perfil hidráulico dos canais inseridos no *software*, Canais 1, 2, 3, 4 e 5, caracterizados no item 4.4. A Figura 35 mostra o perfil dos Canais 2, 4 e 5, localizados nas sub-bacias 2, 3, e 3, respectivamente.

Figura 35 - Perfil Hidráulico Canais 2, 4 e 5 (Cenário A)



01/10/2018 23:30:00

Fonte: Autor e SWMM

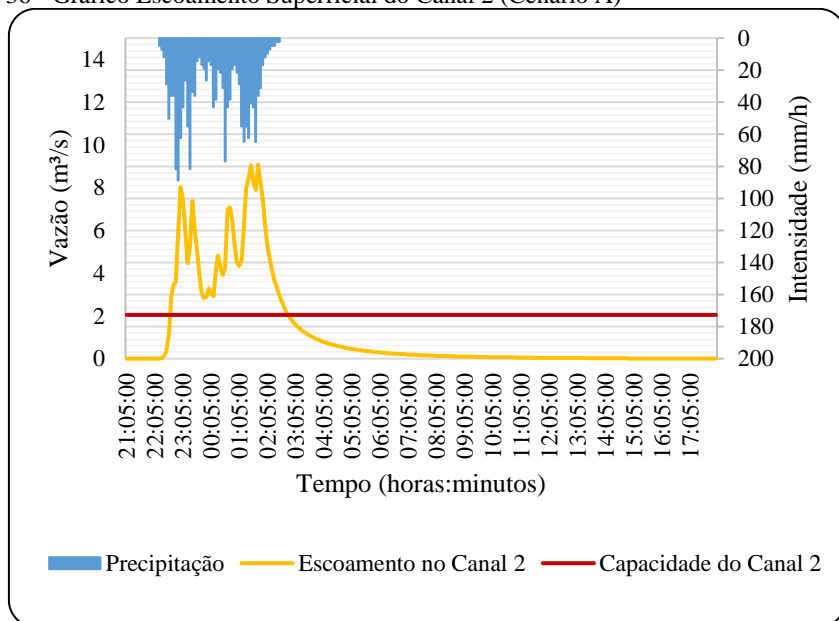
O perfil dos canais mostra o momento em que todos atingiram seus níveis máximos de água durante o evento de chuva da simulação às 23:30 do dia 10/01/2018. As seções dos Canais 1 (localizado na Sub-bacia 1) e 3 (localizado na Sub-bacia 3) não sofreram extravasamento.

A seção do Canal 2 atingiu sua capacidade máxima e, conseqüentemente, sofreu inundação durante 4,18 horas, o extravasamento teve início às 22:45 de 10/01/2018 permanecendo nessa situação até às 03:00 de 11/01/2018. O Canal 4 transbordou às 23:05 de 10/01/2018, porém ao contrário do Canal 2 ele sofreu variações de nível, ultrapassando e recuando o limite de água máximo até às 02:15 de 11/01/2018, ao todo o canal permaneceu com sua seção extravasada durante 1,45 horas. Assim como o Canal 4, o Canal 5 também variou seu nível de água máximo tendo o início das inundações às 23:05 de 10/11/2018 e parando definitivamente às 02:20 de 11/01/2018 com um total de 1,65 horas de inundação.

É importante ressaltar que o evento de chuva teve duração de 4,5 horas, portanto o Canal 2 permaneceu com sua seção transbordada durante quase toda a precipitação. O canal está contido na Sub-Bacia 2, a sub-bacia com maior porcentagem de área impermeável.

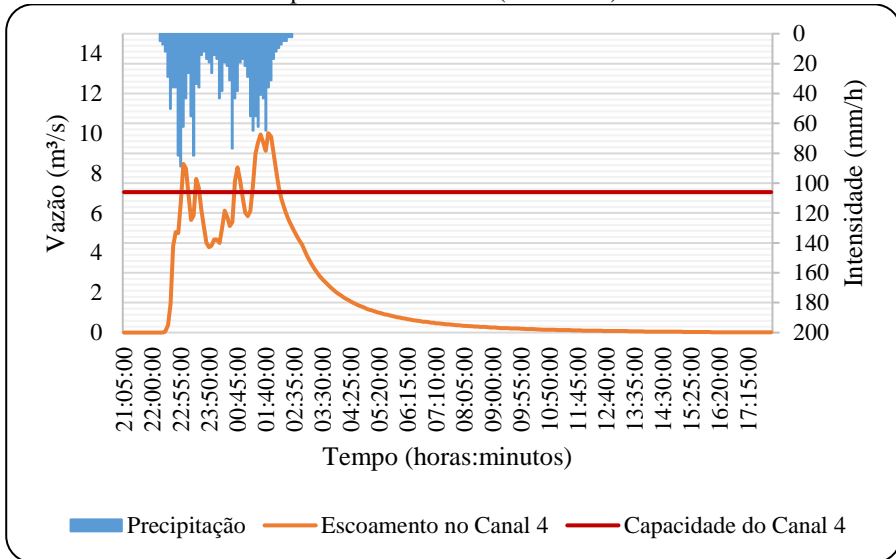
A Figura 36, Figura 37 e Figura 38 apresentam os gráficos dos canais inundados. Neles apresenta-se a capacidade máxima do canal antes do extravasamento, o escoamento superficial simulado pelo SWMM para cada canal e a precipitação utilizada na simulação.

Figura 36 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 2 (Cenário A)



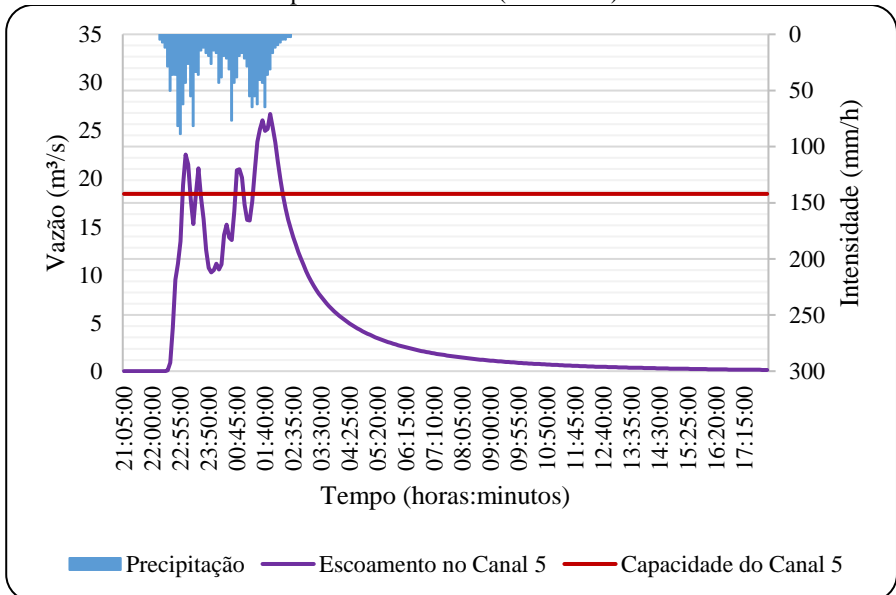
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 37 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 4 (Cenário A)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 38 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 5 (Cenário A)



Fonte: Elaborado pelo Autor



Os gráficos trazem uma linha contínua em vermelho, ela representa o limite de nível de água que o canal consegue escoar sem extravasar sua seção. Portanto todo o escoamento superficial acima desse limite corresponde a inundações sofridas pelos canais. A Tabela 10, a seguir, mostra a quantidade de volume transbordado e capacidade de vazão máxima de cada canal.

Tabela 10 - Volumes Extravasados e Capacidades Máximas dos Canais 2, 4 e 5 (Cenário A)

<b>Canal</b>	<b>Capacidade Máxima (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Vol. Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. Extravasado (m<sup>3</sup>)</b>
Canal 2	2,05	90.400	46.844
Canal 4	7,05	129.000	8.309
Canal 5	18,42	356.000	23.625

Fonte: Elaborado pelo Autor

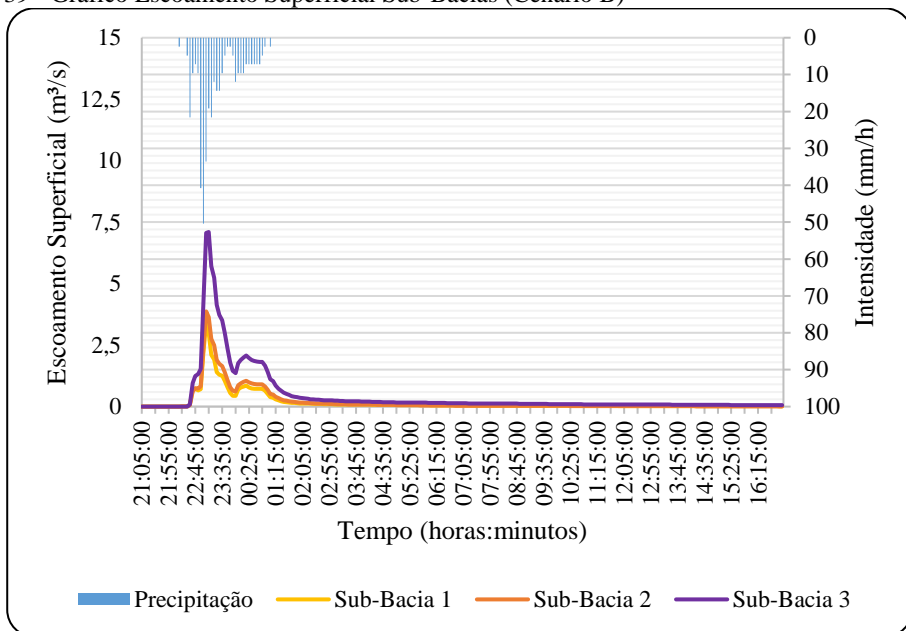
Com os volumes totais e extravasados dos canais é possível confirmar o fato da sub-bacia 2 ser a que mais sofre impacto da impermeabilização do solo, pois cerca de 51,82% do volume de escoamento que escoou para o canal extravasou. Os volumes transbordados dos outros dois canais, 4 e 5, podem ser pela contribuição do escoamento do canal 2 além das áreas impermeáveis de suas sub-bacias (SB-1 e SB-3).

### **5.2.2 Cenário B**

A simulação realizada para o cenário B utilizou o evento de chuva dos dias 16 e 17 de janeiro de 2018 (31,6 mm) e não conta com técnicas de drenagem sustentável.

A Figura 39 apresenta um gráfico com a intensidade de precipitação e o escoamento superficial gerado em cada sub-bacia estudada nesse trabalho.

Figura 39 - Gráfico Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário B)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Além das mesmas observações feitas para o cenário A, percebe-se que o impacto gerado pela chuva e escoamento superficial de 16 e 17 de janeiro são mais amenos que os causados pelo evento dos dias 10 e 11, com um pico de vazão de escoamento próximo de 4 m<sup>3</sup>/s para a Sub-Bacia 2, mais próximo da capacidade máxima de 2,05 m<sup>3</sup>/s do Canal 2.

A Tabela 11 apresenta um resumo de informações da simulação do cenário B.

Tabela 11 - Resumo Informações Simulação (Cenário B)

-	Vol. Infiltração (m <sup>3</sup> )	Vol. Escoamento (m <sup>3</sup> )	Pico de Escoamento (m <sup>3</sup> /s)
Sub-Bacia 1	12.855,25	12.479,37	3,41
Sub-Bacia 2	9.143,21	11.702,99	3,87
Sub-Bacia 3	37.898,68	77.204,55	7,1
Bacia Total	59.897,14	101.386,92	7,1

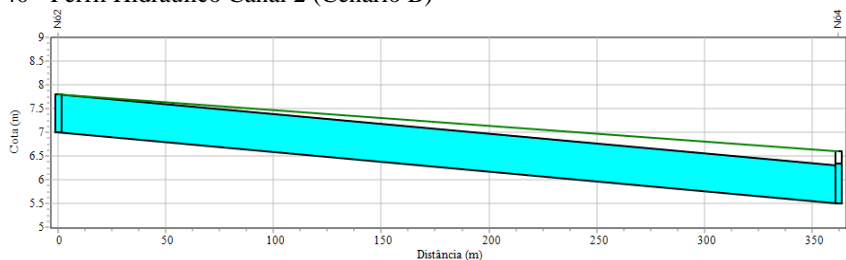
Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores de pico da tabela confirmam as observações feitas no cenário A sobre a urbanização da Sub-Bacia 2, porém, diferente do cenário A o volume de escoamento da sub-bacia 1 é um pouco maior que o volume da sub-bacia 2, mas continua com um pico de vazão maior (3,87 m<sup>3</sup>/s). Isso pode ser explicado pelo bom comportamento do canal para eventos de precipitação mais amenos e/ou uma boa declividade média da sub-bacia 2 (26%), semelhante à declividade média encontrada na sub-bacia 1 (25,57%).

Além disso, mostra que o impacto da chuva e do escoamento é menor, pois os picos de escoamento reduziram significativamente cerca de 39,93% para a SB-1, 41,26% para a SB-2 e 34,84% para a SB-3.

A Figura 40 mostra o perfil do Canal 2, único canal neste cenário que sofreu com inundação de sua seção.

Figura 40 - Perfil Hidráulico Canal 2 (Cenário B)



01/16/2018 23:05:00

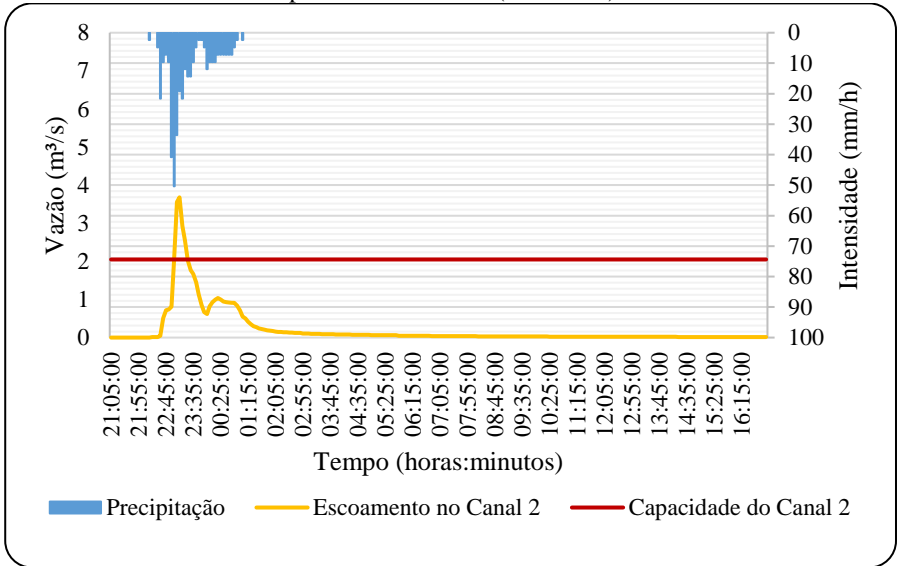
Fonte: Autor e SWMM

O canal sofreu transbordamento às 23:05 de 16/01/2018, permanecendo nesse estado por 0,4 horas, portando às 23:30 do mesmo dia o canal voltou ao seu estado normal de funcionamento.

Os Canais 1, 3, 4 e 5 não sofreram extravasamento de suas seções.

A Figura 41 apresenta o gráfico do canal inundado. Nele, contém a capacidade máxima do canal antes do extravasamento, o escoamento superficial simulado pelo SWMM para cada canal e a precipitação utilizada na simulação.

Figura 41 - Gráfico Escoamento Superficial do Canal 2 (Cenário B)



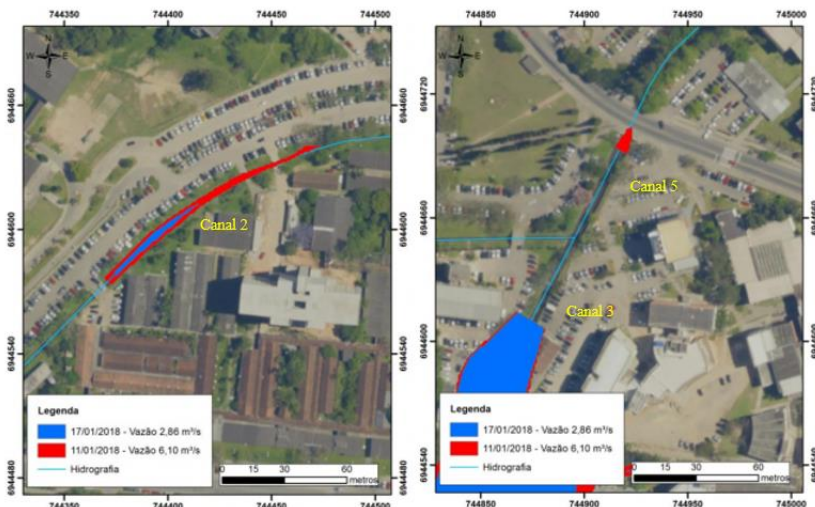
Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao contrário do cenário A, apenas o Canal 2 sofreu transbordamento de seção, também diferente do cenário anterior, o canal inundou por um tempo consideravelmente menor. Sua capacidade máxima continuou sendo de 2,05 m³/s e o volume extravasado foi de 1395 m³.

### 5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS SIMULADOS COM OS OBTIDOS POR TOSCANO (2018)

Com a finalidade de avaliar os resultados obtidos pelo SWMM, para os cenários A e B, os mesmos foram comparados com os resultados obtidos por Toscano (2018), que, através do modelo HEC-RAS mapeou manchas de inundação no campus da UFSC, para os mesmos dois eventos de chuva utilizados neste estudo. A Figura 42 apresenta as manchas de inundação obtidas por Toscano (2018).

Figura 42 - Mapas de Inundação Campus da UFSC



Fonte: Toscano (2018)

Os resultados de Toscano (2018) mostraram que os canais que extravasaram suas seções foram os canais 2, 3 e 5, sub-bacias 2 e 3 respectivamente, com os canais 2 e 3 sofrendo inundações para os dois eventos de chuva.

Para os dois principais canais da bacia do Rio do Meio, o Canal 2 e Canal 5, foram obtidos resultados semelhantes para o SWMM (este estudo) e o HEC-RAS (Toscano (2018)). O Canal 2 é importante por ser o canal que recebe escoamento superficial da sub-bacia com maior porcentagem de área impermeável e o Canal 5 por ser o canal exutório do campus da UFSC.

Os dois estudos analisaram os mesmos eventos de precipitação e o impacto gerado nos mesmos canais e na mesma bacia hidrográfica, também dividida em três sub-bacias de dimensões e características semelhantes. Para mais, o uso e ocupação do solo dos dois trabalhos foram elaborados a partir dos dados e metodologia empregados por Aquino (2017) para o mesmo ano de 2011.

No entanto, os resultados das simulações dos cenários A e B os canais inundados foram os canais 2, 4 e 5, sub-bacias 2, 1 e 3 respectivamente, com o Canal 2 transbordando nos dois eventos de chuva. Essa diferença pode ser explicada pela adoção de coeficientes de Manning ( $n$ ) diferentes nos dois estudos. A Tabela 12 apresenta os coeficientes de Manning utilizados no trabalho de Toscano (2018) e nesse trabalho.

Tabela 12 - Comparação dos Coeficientes de Manning (n) Deste Estudo e de Toscano (2018)

Canais	n (este estudo)	n (Toscano(2018))
Canal 1	0,015	0,032
Canal 2	0,025	0,032
Canal 3	0,025	0,032
Canal 4	0,015	0,032
Canal 5	0,03	0,032

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores de Toscano (2018) são os mesmos para todos os canais, porém segundo documentos e descrições dos canais fornecidos pelo PDI os canais foram construídos do mesmo material, fundo de concreto e laterais de pedra argamassada, mas estão em estados diferentes atualmente por falta de manutenção regular, alguns possuem sedimentos e vegetação, enquanto outros continuam em bom estado.

Além disso, os *softwares* utilizados são distintos. O HEC-RAS é um *software* é mais rebuscado quando comparado ao SWMM, é um modelo hidrodinâmico e possibilita modelagens unidimensionais, portanto a caracterização de canais, construídos ou naturais, torna-se mais complexa, pois é necessário avaliar mais uma seção de um mesmo canal. O HEC-RAS também possui interface com o ArcGIS, gerando dados georreferenciados e mais completos (TOSCANO, 2018), enquanto o SWMM é um modelo de simulação de chuva-escoamento, mensurando quantidade e qualidade do escoamento superficial, principalmente para bacias urbanas e menores (US EPA, 2015).

O SWMM considera os canais contínuos, ou seja, a geometria da seção de cada canal é constante em todo seu comprimento, as declividades e outras características também são constantes (US EPA, 2015).

#### 5.4 DETERMINAÇÃO DO CN DOS CENÁRIOS C E D

Os valores de CN foram obtidos seguindo a metodologia dos itens 4.2.3 e 4.2.3.1, o mapa de uso do solo (Figura 15), os valores de CN para tipos de uso e solo diferentes (Figura 20) e os novos valores de CN correspondentes a cada tipo de técnica sustentável, apresentados pela Figura 43. Onde *Ecoroof* corresponde à Telhado Verde, *Pervious Pavament* à Pavimento Permeável e *Trees* foi utilizado para Jardim de Chuva.

Figura 43 - Valores de CN para Técnicas Sustentáveis

Stormwater Facility Type	Hydrologic Condition	Curve Numbers by Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Ecoroof	Good	n/a	61	n/a	n/a
Planter	Good	n/a	48	n/a	n/a
Pervious Pavement	n/a	76	85	89	n/a
Trees (new or existing)	n/a	36	60	73	79

Fonte: City of Portland (2016)

Para pavimento permeável foi utilizado o CN igual a 85, os telhados verdes possuem um CN de 61 e os jardins de chuva CN igual a 60, lembrando que o grupo hidrológico do solo encontrado na bacia do campus é o grupo B.

Os valores de CN das sub-bacias não sofreram grandes alterações, apenas as Sub-bacias 1 e 2 obtiveram o valor alterado, sendo, com as técnicas implementadas, 72 e 77, respectivamente.

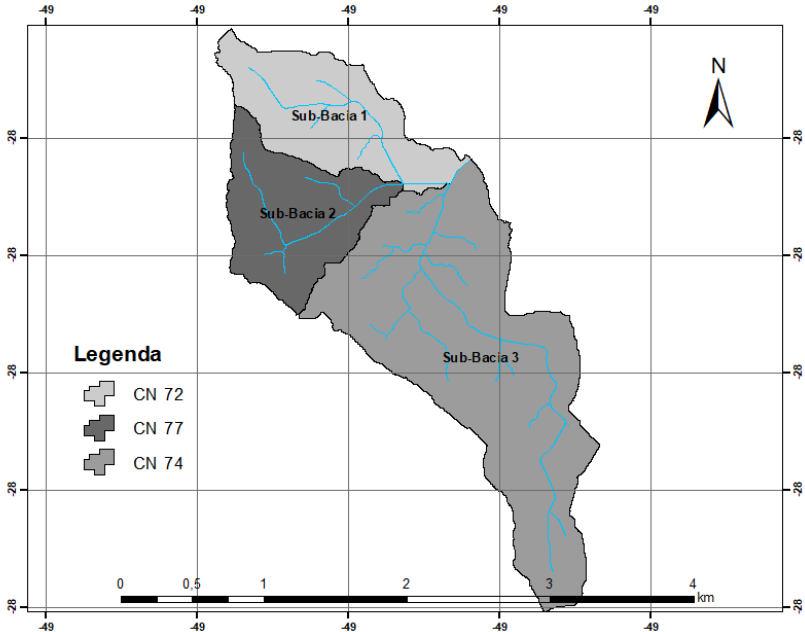
A Tabela 13 e a Figura 44 apresentam as porcentagens de área correspondentes para cada tipo de uso e ocupação do solo para cada sub-bacia e seus respectivos novos CN.

Tabela 13 - Novos CN das Sub-bacias Estudadas

Área (%)			
Classe	SB-1	SB-2	SB-3
<b>Vegetação Densa</b>	35,75	24,98	24,43
<b>Gramíneas</b>	23,71	23,54	30,91
<b>Solo Exposto</b>	5,60	4,74	12,73
<b>Edificações</b>	21,95	31,10	20,11
<b>Superfícies Pavimentadas</b>	10,52	11,98	11,06
<b>Total</b>	100	100	100
<b>CN</b>	72	77	74

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 44 - CN das Sub-bacias com Técnicas Sustentáveis



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 5.5 RESULTADOS DO SWMM PARA OS CENÁRIOS C E D

Neste item, os resultados das simulações realizadas no SWMM, para os cenários C e D, utilizando técnicas de drenagem urbana sustentável, são apresentados e discutidos.

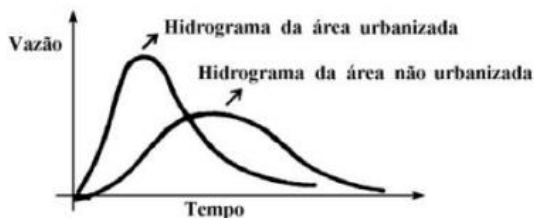
### 5.5.1 Cenário C

A simulação realizada para o cenário C utiliza o mesmo evento de chuva do cenário A (10 e 11 de janeiro de 2018, 143 mm). No entanto, neste cenário de simulação as sub-bacias contêm técnicas de drenagem sustentável alocadas no campus da UFSC.

Segundo USEPA (2015), a utilização de técnicas sustentáveis (*LID Controls*) procura reduzir o escoamento superficial de uma sub-bacia urbanizada, ou desenvolvida, de forma que esta apresente um comportamento hidrológico semelhante ao de pré-desenvolvimento. A Figura 45 apresenta os hidrogramas típicos de uma bacia pré e pós urbanização.



Figura 45 - Hidrogramas de Áreas Urbanizadas e Não Urbanizadas

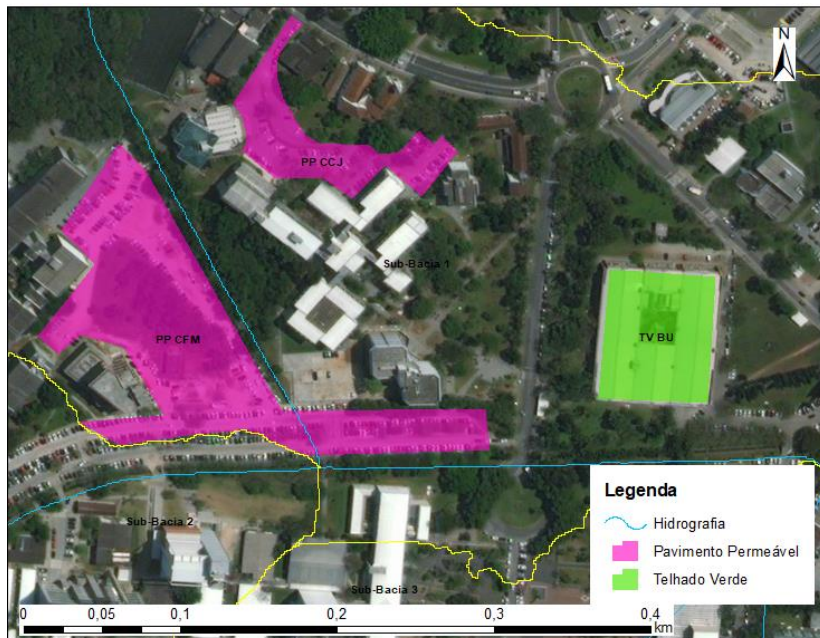


Fonte: Tucci (1995)

Portanto, espera-se que os hidrogramas das simulações do cenário C sejam semelhantes ao da imagem anterior.

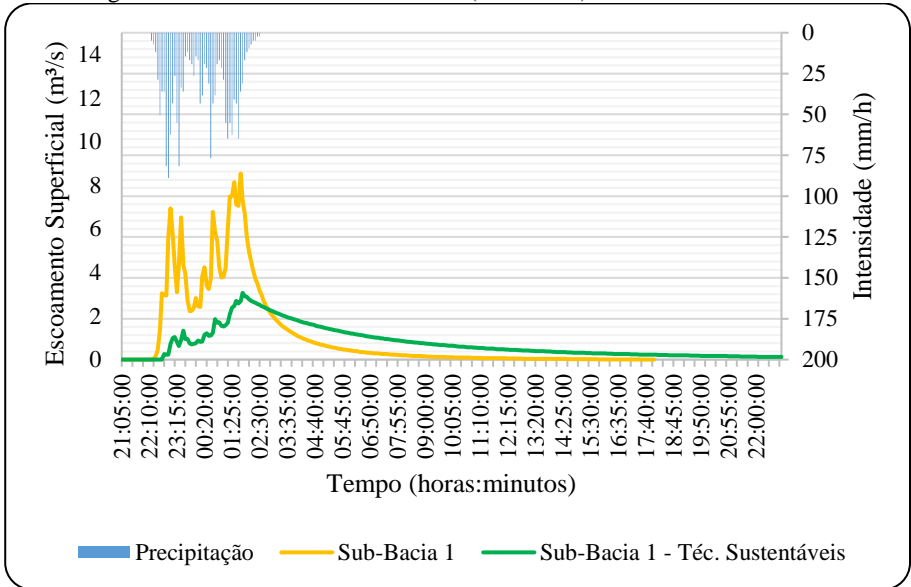
A Figura 46 mostra mais detalhadamente as técnicas inseridas na Sub-Bacia 1. Já a Figura 47 apresenta um gráfico comparando os hidrogramas de antes e depois das técnicas sustentáveis na SB-1 (sub-bacia do córrego da Serrinha).

Figura 46 - Técnicas Sustentáveis SB-1



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 47 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-1 (Cenário C)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Nota-se grande diferença entre os dois hidrogramas, principalmente pela redução de vazão dos picos, a curva do hidrograma das técnicas sustentáveis apresenta forma abaulada de uma área pré-desenvolvida, principalmente quando comparado com o hidrograma da SB-1 sem técnicas. Porém ainda há presença de um pico de vazão elevado, acima de  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , isso pode ser devido a dois picos de chuva durante o evento de precipitação.

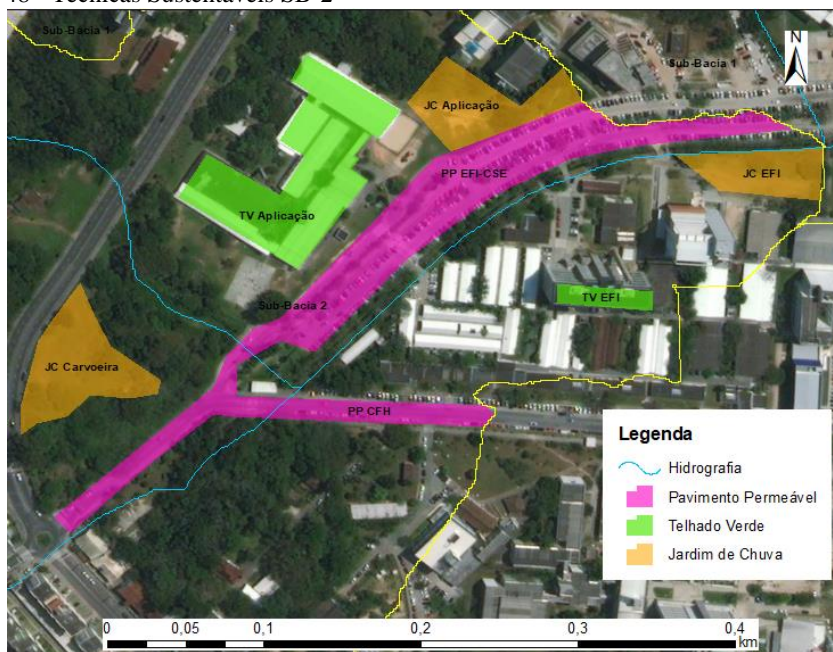
Outra provável explicação seria o fato de não estar sendo levado em consideração o encaminhamento do escoamento dentro do SWMM, causando diferenças de vazão no exutório e em outros pontos da bacia.

Porém é válido observar o alongamento do tempo de escoamento tornando-o melhor distribuído na sub-bacia, semelhante a áreas pouco urbanizadas e o aumento do tempo de concentração da SB-1, intervalo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma.

Além disso, como já mencionado no item 3.1, com o aumento das vazões máximas, por consequência da impermeabilização, o tempo de retardo (intervalo de tempo entre o momento de maior intensidade de chuva e a vazão máxima de escoamento) decresce (LEOPOLD, 1968). O aumento do tempo de retardo da sub-bacia também é gerado pelo uso das técnicas sustentáveis.

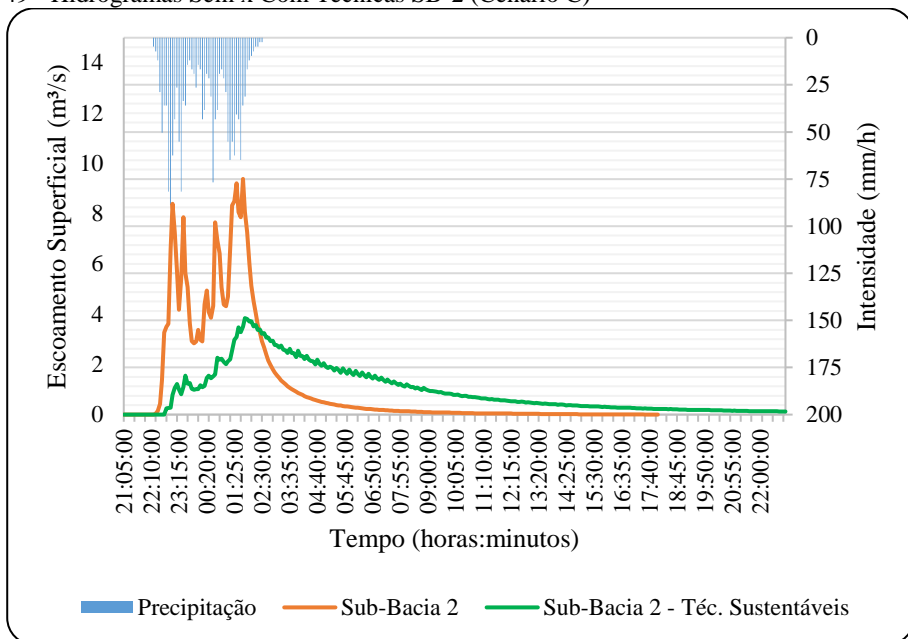
A Figura 48 e a Figura 49 apresentam as técnicas sustentáveis e os hidrogramas da Sub-Bacia 2, respectivamente.

Figura 48 - Técnicas Sustentáveis SB-2



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 49 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-2 (Cenário C)



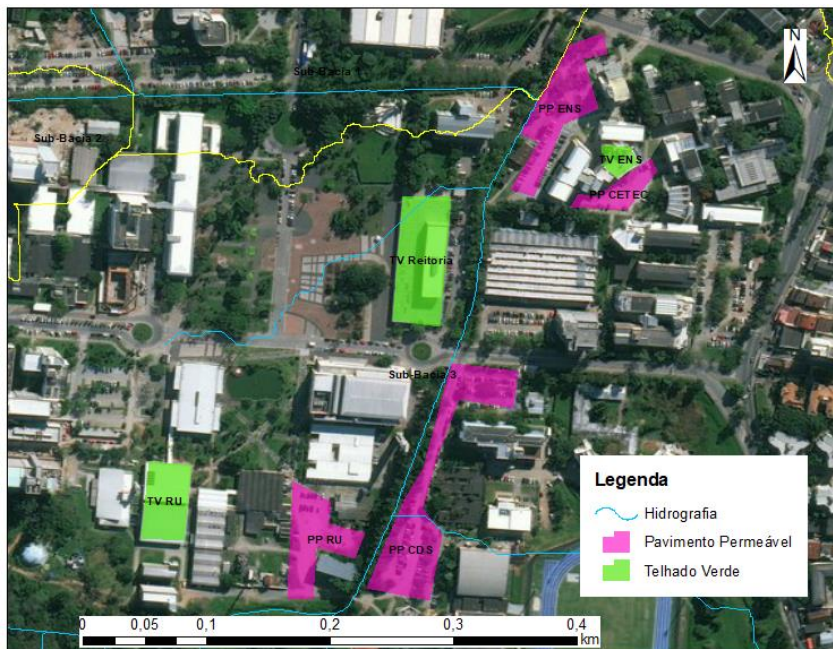
Fonte: Elaborado pelo Autor

Observa-se as mesmas características dos hidrogramas da Sub-Bacia 1, aumento dos tempos de concentração e retardo, melhor distribuição do escoamento e diminuição dos picos de vazão de escoamento superficial.

Interessante identificar o pico de escoamento após as técnicas de drenagem sustentáveis próximo de 4 m³/s, próximo ao valor de pico da SB-2 no cenário B, que possui um evento de precipitação de bem menor intensidade.

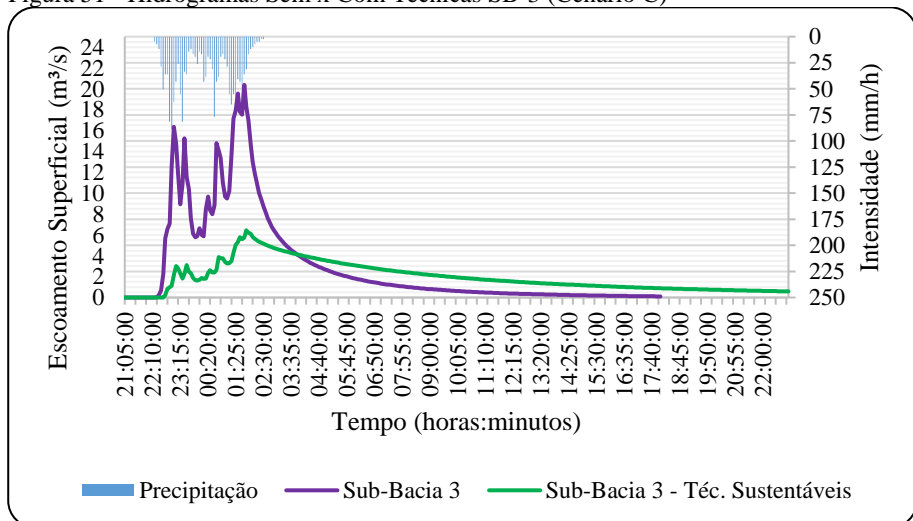
Por fim, a Figura 50 e Figura 51 trazem as técnicas e hidrogramas da maior sub-bacia desse trabalho. Nos hidrogramas é possível observar as mesmas características das outras duas sub-bacias e a diferença entre o hidrograma teórico de uma área pouco urbanizada para o hidrograma da Sub-Bacia 3 é supostamente causado pelas mesmas explicações das sub-bacias 1 e 2.

Figura 50 - Técnicas Sustentáveis SB-3



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 51 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-3 (Cenário C)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Nos hidrogramas com técnicas sustentáveis das três sub-bacias é possível perceber uma vazão de escoamento superficial crescente até o último pico de vazão, isso se deve ao fato de a chuva real utilizada para as simulações no SWMM possuírem mais de um pico de precipitação durante todo o evento, além disso, por existir mais de um pico de chuva e vazão, a eficiência das técnicas sustentáveis pode sofrer alguma diminuição.

As tabelas a seguir (Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16) contêm os volumes de infiltração nos cenários A e C e o aumento, em porcentagem, desse volume, os volumes de escoamento dos cenários A e C e a redução, em porcentagem, do volume de escoamento.

Por fim, a Tabela 16 apresenta os picos de vazão de escoamento superficial das sub-bacias nos cenários A e C e a eficiência na redução dos mesmos.

Tabela 14 - Eficiência Aumento Infiltração Sub-Bacias (Cenário C)

-	$V_{inf}$ (m <sup>3</sup> )	$V_{inf}^{LID}$ (m <sup>3</sup> )	$V_A$ (%)
Sub-Bacia 1	33879,33	36744,80	7,80
Sub-Bacia 2	21527,25	23617,35	8,85
Sub-Bacia 3	98097,72	101198,31	3,06
Bacia Total	153504,70	161560,46	4,99

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 15 - Eficiência Redução Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário C)

-	$V_{esc}$ (m <sup>3</sup> )	$V_{esc}^{LID}$ (m <sup>3</sup> )	$V_R$ (%)
Sub-Bacia 1	85041,79	69856,06	17,86
Sub-Bacia 2	90062,18	88676,60	1,54
Sub-Bacia 3	235882,93	183554,60	22,18
Bacia Total	410986,90	342087,26	16,76

Fonte: Elabora pelo Autor

Tabela 16 - Eficiência Redução Pico de Escoamento Sub-Bacias (Cenário C)

Sub-Bacias	$Q_{pico}^{esc}$	$Q_{pico}^{esc LID}$	$Q_R$ (%)
Sub-Bacia 1	8,54	3,06	64,17
Sub-Bacia 2	9,38	3,84	59,06
Sub-Bacia 3	20,38	6,44	68,40

Fonte: Elaborado pelo Autor

Houve aumento no volume de precipitação infiltrada nas sub-bacias 1 e 2, 7,80% e 8,85%, respectivamente. O volume infiltrado na SB-3 aumentou, porém, não nas mesmas proporções das outras sub-bacias.

Esse acréscimo tímido pode ser explicado pelo fato da sub-bacia ter a maior porcentagem de área não urbanizada de todas, já que no cenário A, sem técnicas compensatórias, o volume infiltrado na SB-3 é maior que a soma dos volumes infiltrados nas SB-1 e SB-2.

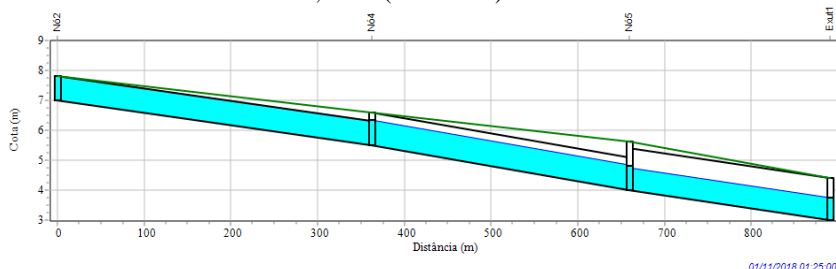
Os volumes de escoamento também reduziram, com reduções acima de 15% nas sub-bacias 1 e 3. No entanto, a redução do escoamento da SB-2 foi de 1,54%. A Sub-Bacia 2 é a mais urbanizada, outro fator que influencia a pouca porcentagem de redução é a quantidade de área do campus da UFSC contida na sub-bacia, limitando o tamanho e quantidade das técnicas de drenagem sustentável.

Apesar do exposto, a porcentagem de redução do volume de escoamento em toda a bacia, como um sistema único, foi de 16,76%. Com isso menciona-se novamente os trabalhos de Jato-Espino, *et al.* (2016) e Noordhoek (2015), presentes no item 3.5, onde foram obtidos bons resultados mesclando técnicas e analisando os microssistemas das bacias, reduzindo 50% do volume de escoamento e reduzindo 31% das vazões de pico, respectivamente.

As reduções das vazões de pico de escoamento superficial foram substanciais, em todas as sub-bacias acima de 55%.

A Figura 52 mostra o perfil dos Canais 2, 4 e 5 no cenário C.

Figura 52 - Perfil Hidráulico Canais 2, 4 e 5 (Cenário C)



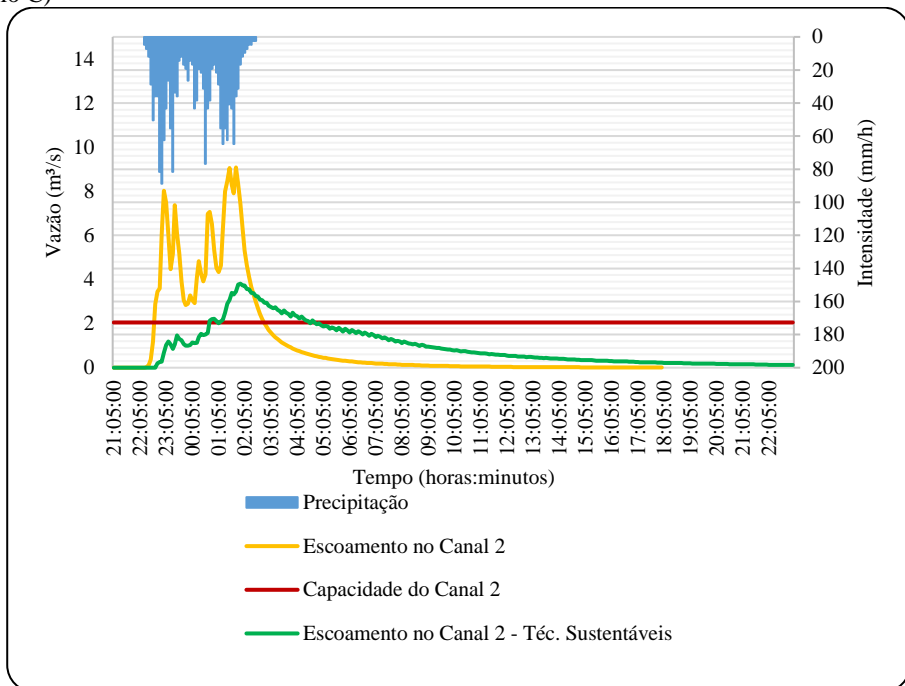
Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil mostra o momento em que o Canal 2 atingiu sua capacidade máxima, às 01:25 de 11/01/2018, 1 hora e 55 minutos depois do cenário A, afirmando o aumento do tempo de concentração da SB-2. O canal permaneceu 1,77 horas em sua capacidade máxima e transbordando, reduzindo 57,66% do tempo de extravasamento.

Importante ressaltar que os Canais 4 e 5 não atingiram suas capacidades máximas, portanto suas seções não extravasaram, mostrando a alta eficiência das técnicas sustentáveis.

As figuras (Figura 53, Figura 54 e Figura 55) apresentam os gráficos dos canais com e sem técnicas compensatórias, neles contém a capacidade máxima, o escoamento superficial e a precipitação em cada canal.

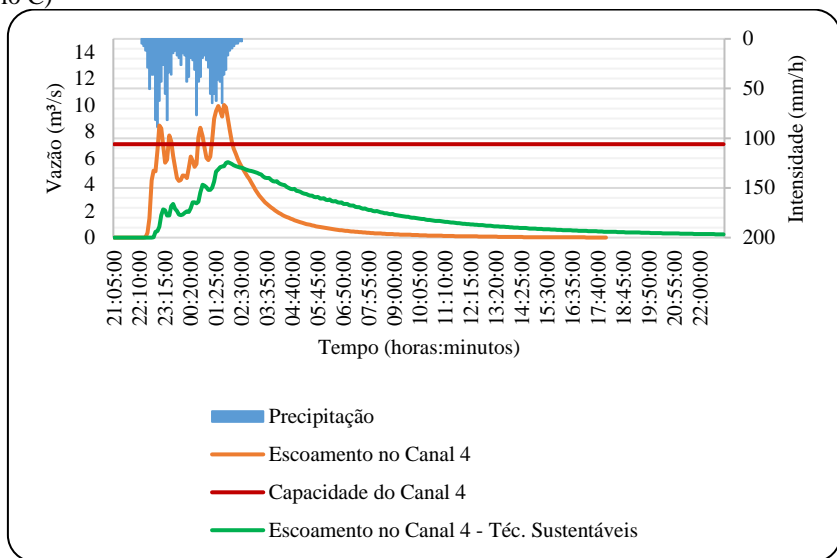
Figura 53 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 2 (Cenário C)



Fonte: Elaborado pelo Autor

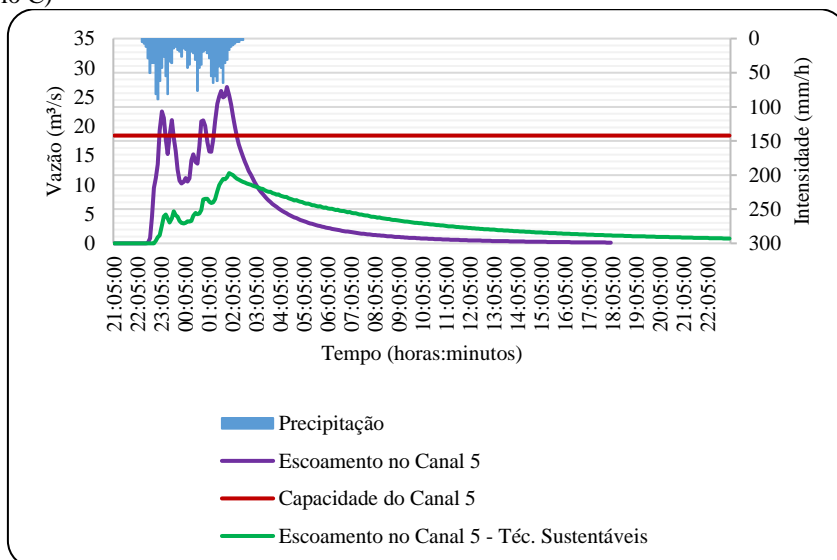


Figura 54 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 4 (Cenário C)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 55 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 4 (Cenário C)



Os gráficos mostram uma diminuição significativa dos picos de vazão de escoamento e também que apenas o Canal 2 continua ultrapassando sua capacidade, mesmo com as técnicas sustentáveis aplicadas. A Tabela 17 mostra a porcentagem de volume extravasado reduzido com o uso das técnicas compensatórias.

Tabela 17 - Eficiência Redução Volume Extravasado Canal 2 (Cenário C)

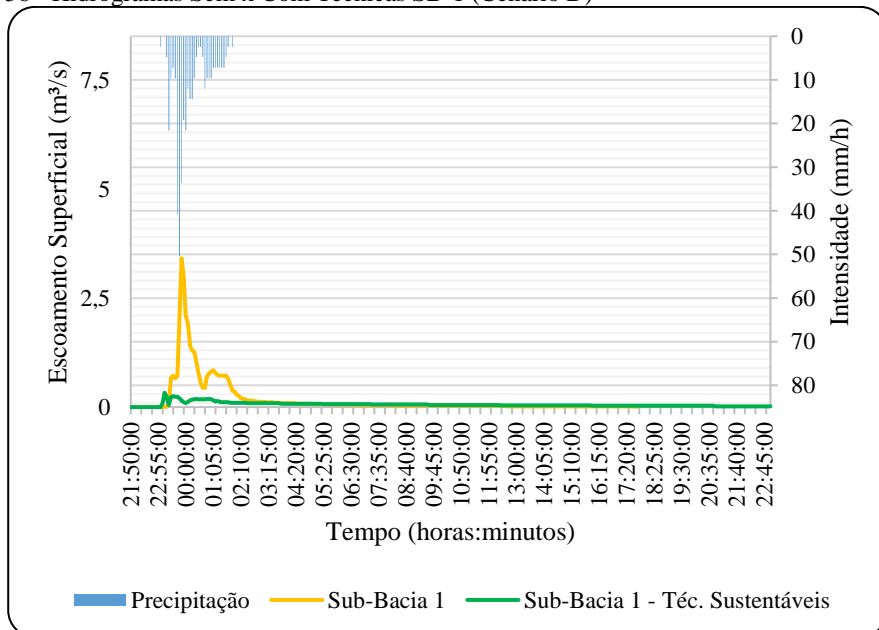
Canal	Capacidade Máxima (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>ext</sub> <sup>LID</sup> (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> (%)
Canal 2	2,05	46844	3504	92,52

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 5.5.2 Cenário D

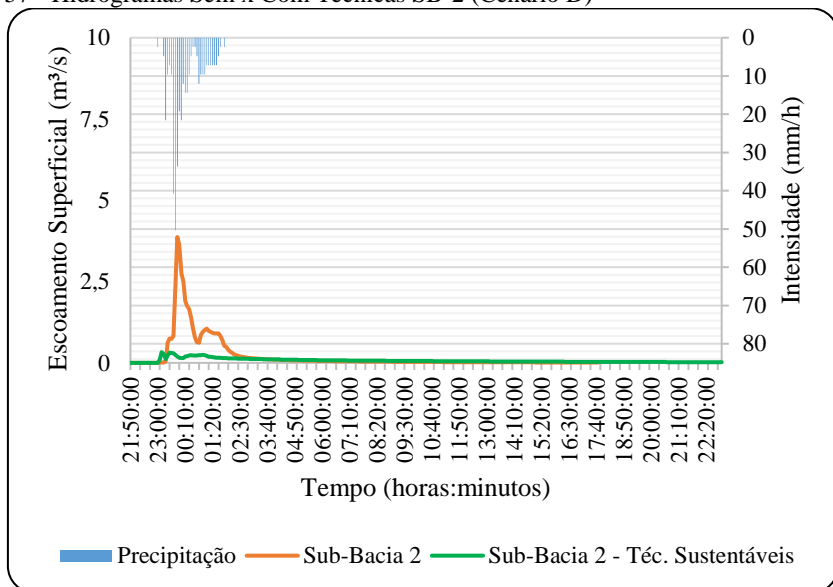
A simulação realizada para o cenário D utiliza o mesmo evento de chuva do cenário B (16 e 17 de janeiro de 2018, 31,6 mm), com técnicas de drenagem sustentável no campus da UFSC. A Figura 56, a Figura 57 e a Figura 58 apresentam os hidrogramas das sub-bacias 1, 2 e 3 com técnicas compensatórias e sem elas.

Figura 56 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-1 (Cenário D)



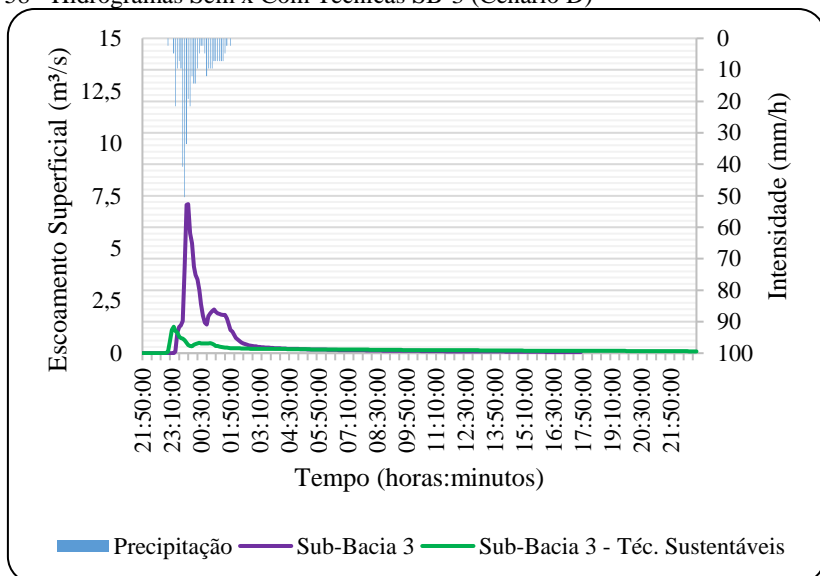
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 57 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-2 (Cenário D)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 58 - Hidrogramas Sem x Com Técnicas SB-3 (Cenário D)



Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível perceber que, para o cenário D, os hidrogramas das sub-bacias 1 e 2 adquiriram uma forma abaulada muito próxima de uma área pré-desenvolvida, como mostrado na Figura 45. Já o hidrograma da SB-3 ainda possui um pico de vazão alto comparado ao gráfico das outras duas sub-bacias por influência, talvez, de sua grande área (2,39 km<sup>2</sup>).

O escoamento superficial continua bem distribuído nas três sub-bacias, porém, os tempos de retardo e concentração reduziram em relação aos tempos do cenário B.

Importante atentar para a drástica diminuição dos picos de vazão de escoamento superficial, todos abaixo de 2 m<sup>3</sup>/s, indicando uma alta eficiência das técnicas sustentáveis, quando em evento de precipitação menor.

As tabelas a seguir (Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20) apresentam os volumes de infiltração nos cenários B e D e o aumento, em porcentagem, desse volume, os volumes de escoamento dos cenários B e D e a redução, em porcentagem, do volume de escoamento. Por fim, a Tabela 20 apresenta os picos de vazão de escoamento superficial das sub-bacias nos cenários B e D e a eficiência na redução dos mesmos.

Tabela 18 - Eficiência no Aumento da Infiltração Sub-Bacias (Cenário D)

-	V <sub>inf</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>inf</sub> <sup>LID</sup> (m <sup>3</sup> )	V <sub>A</sub> (%)
Sub-Bacia 1	12855,25	14241,85	9,74
Sub-Bacia 2	9143,21	10286,11	11,11
Sub-Bacia 3	37898,68	38590,35	1,79
Bacia Total	59897,14	63118,31	5,10

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 19 – Eficiência na Redução do Escoamento Superficial Sub-Bacias (Cenário D)

-	V <sub>esc</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>esc</sub> <sup>LID</sup> (m <sup>3</sup> )	V <sub>R</sub> (%)
Sub-Bacia 1	12479,37	5437,80	56,43
Sub-Bacia 2	11702,99	6458,17	44,82
Sub-Bacia 3	77204,55	16289,99	78,90
Bacia Total	101386,92	28185,96	72,20

Fonte: Elabora pelo Autor

Tabela 20 – Eficiência na Redução do Pico de Escoamento Sub-Bacias (Cenário D)

Sub-Bacias	Q <sub>pico</sub> <sup>esc</sup>	Q <sub>pico</sub> <sup>esc</sup> LID	Q <sub>R</sub> (%)
Sub-Bacia 1	3,41	0,33	90,32
Sub-Bacia 2	3,87	0,33	91,47
Sub-Bacia 3	7,10	1,26	82,25

Fonte: Elaborado pelo Autor

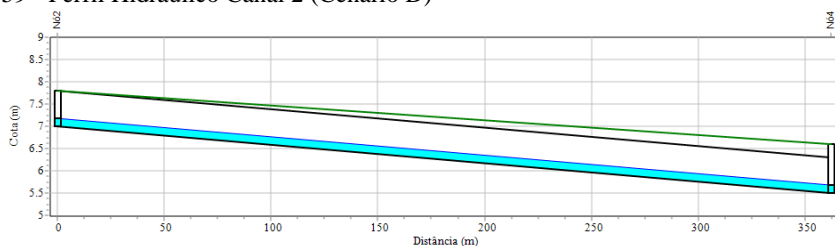
Assim como no cenário C, houve aumento no volume de precipitação infiltrada nas sub-bacias 1 e 2, 9,74% e 11,11% respectivamente. Esse fator ocorre pelas mesmas explicações do cenário anterior, a SB-3 possui maior quantidade de áreas não urbanizadas e já possui um grande volume de infiltração sem técnicas sustentáveis.

A redução do volume de escoamento é substancialmente alta nesse cenário, principalmente para a Sub-Bacia 3 que reduziu mais de 75%, até mesmo a SB-2, com maior porcentagem de área impermeável, atingiu uma redução expressiva, cerca de 45% do volume.

A eficiência na amenização dos picos de vazão também chama atenção, todas acima de 80% de redução. Especialmente a maior eficiência de redução, cerca de 92%, da SB-2 que é mais urbanizada e possui uma menor área do campus inserida na sub-bacia, dificultando a implantação de técnicas.

A Figura 59 mostra o perfil dos Canal 2 no cenário D.

Figura 59 - Perfil Hidráulico Canal 2 (Cenário D)



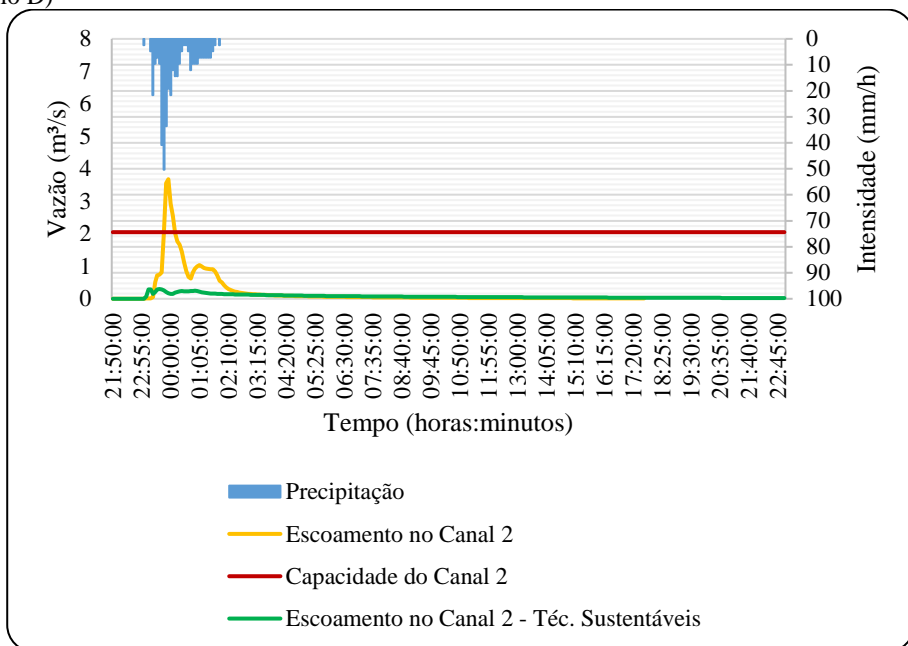
01/16/2018 23:35:00

Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil mostra o momento em que o Canal 2 atingiu seu volume máximo de água, às 23:35 de 16/01/2018, 30 minutos depois do cenário A, onde o canal ultrapassou sua capacidade máxima. Portanto para essa simulação o problema gerado pela impermeabilização do solo da SB-2 foi sanado, já que não houve extravasamento da seção do canal.

A Figura 60 apresenta o gráfico do canal com e sem técnicas compensatórias, nele contém sua capacidade máxima, o escoamento superficial e a precipitação.

Figura 60 - Gráfico Escoamento Superficial Sem x Com Técnicas do Canal 2 (Cenário D)



Fonte: Elaborado pelo Autor

No apêndice D se encontram os hidrogramas com e sem técnicas sustentáveis do sistema total, Bacia Hidrográfica do Rio do Meio, para os cenários A e C e B e D.

## 5.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO SWMM COM OUTROS ESTUDOS

Leite *et al.* (2016) realizaram um estudo semelhante na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus de Cuiabá. Foi utilizado o SWMM para comparar o comportamento do pico de vazão de escoamento superficial, com e sem técnicas sustentáveis. O trabalho simulou dois cenários: o cenário 1 foi o da UFMT atual, e, o cenário 2, foi com 100% dos telhados do campus com a técnica de telhado verde. Para simular os cenários foi utilizado um evento de precipitação real de 10 horas e 30 minutos de duração, com 126,3 mm de precipitação total. A universidade possui aproximadamente 0,78 km<sup>2</sup> de área e o método de

infiltração escolhido no estudo foi o SCS. Houve redução de 18% do pico de escoamento superficial no campus, apenas com telhados verdes.

O estudo de Leite *et al.* (2016) simulou os cenários com uma chuva total de 126,3 mm, precipitação semelhante a 143 mm, utilizada neste estudo nos cenários A (sem técnicas) e C (com técnicas). No cenário C houve uma redução média de 64% no pico de vazão, resultado obtido com a combinação de três técnicas diferentes, enquanto Leite *et al.* (2016) fez uso apenas de telhados verdes. A área do campus da UFMT é aproximadamente 5 vezes menor que a área do presente trabalho e o resultado obtido é 3,5 vezes menor, se o estudo de Leite *et al.* (2016) considerasse a combinação de pavimentos permeáveis com telhados verdes seria possível alcançar redução de pico de vazão mais próxima de 64%.

Oliveira *et al.* (2017) simularam três cenários na Sub-Bacia do Iate Clube, uma das 28 sub-bacias contribuintes do Lago Paranoá, Brasília. A sub-bacia possui uma área de 9 km<sup>2</sup>, cerca de 2 vezes maior que a Bacia do Rio do Meio. Foi utilizado o método de infiltração do SCS e uma chuva de projeto com período de retorno de 10 anos. O cenário 1 simulou uma bacia de detenção de 48.000 m<sup>3</sup>, considerada de difícil implantação. Neste cenário, obteve-se uma redução de 58% do pico de vazão de escoamento superficial. O cenário 2 simulou trincheiras de infiltração e jardins de chuva, e houve redução de pontos de inundação, com a vazão de alagamento reduzindo em 29%. O cenário 3 simulou a combinação das técnicas dos cenários 1 e 2, obtendo redução do pico de escoamento e de pontos de alagamento.

Em uma bacia com maior possibilidade construtiva Oliveira *et al.* (2017) alcançou resultados semelhantes a este estudo, que limitou as técnicas sustentáveis apenas para o campus da universidade. A Bacia do Rio do Meio possui 0,018 km<sup>2</sup> de técnica sustentável/km<sup>2</sup> de área e obteve, em média, 64% de redução do pico de vazão e reduzindo quase totalmente os pontos de alagamento, enquanto Oliveira *et al.* (2017) atingiu 58% de redução do pico de vazão de escoamento.

Por fim, da Silva *et al.* (2014) realizaram um estudo na Bacia do Anhangabaú, em São Paulo, com 5,4 km<sup>2</sup> de área, sendo semelhante à área da bacia do rio do Meio (4 km<sup>2</sup>). No entanto, a bacia do Anhangabaú apresenta 77,5% de área impermeável, enquanto a bacia deste estudo possui, aproximadamente, 37,87% de área impermeável. Da Silva *et al.* (2014) simulou três cenários:

- Cenário A: Construção de dois reservatórios para conter a água de chuva com 46.000 m<sup>3</sup> e 36.000 m<sup>3</sup>, respectivamente;

- Cenário B: Um canal para transportar uma vazão média de 137,6 m<sup>3</sup>/s, possuindo 1,6 km de comprimento e 6,2 m de diâmetro;
- Cenário C: Substituição das galerias de drenagem por canais maiores e com reservatórios linearmente distribuídos.

Todos os cenários foram combinados com técnicas de drenagem sustentável, sendo elas: pavimentos permeáveis, células de biorretenção e valas de infiltração. Para os cenários foi utilizado o método de infiltração do SCS e precipitações de 25 e 100 anos de retorno. Com a chuva de projeto de 25 anos de retorno o cenário A reduziu 7% dos pontos de alagamento, o cenário B reduziu 12% e o cenário C reduziu 63%. Já para a chuva de projeto de 100 anos o cenário A reduziu 8% dos pontos alagados, o cenário B continuou reduzindo 12% e o cenário C reduziu 60%.

O cenário C de da Silva et al. (2014) obteve resultados parecidos com o cenário C deste estudo. Na Bacia do Anhangabaú foi reduzido cerca de 60% dos pontos de alagamento, enquanto no cenário C deste estudo foi reduzido aproximadamente 67% dos pontos de alagamento (considerando que apenas o Canal 2 continuou transbordando após as técnicas sustentáveis, enquanto os problemas nos canais 4 e 5 foram resolvidos) utilizando técnicas mais custosas e de implementação mais trabalhosa. Porém, deve-se levar em conta que o Anhangabaú é praticamente 2 vezes mais impermeável que a Bacia do Rio do Meio e a utilização de técnicas diferentes.

Em síntese, a comparação desses três estudos semelhantes ressalta a importância da combinação de técnicas sustentáveis, como já discutido durante este trabalho, pois, assim, foram obtidos os melhores resultados, tanto para este estudo, quanto para os outros três.

Além disso, afirma-se que cada estudo e região deve avaliar as melhores técnicas a serem implantadas, levando em consideração custo, disponibilidade de área, porcentagem de área urbanizada, gravidade dos impactos gerados pelo escoamento superficial, estética, entre outros.



## 6 CONCLUSÕES

Através deste estudo realizou-se uma breve análise dos possíveis efeitos da implantação de técnicas de drenagem sustentável para amenizar o volume de escoamento superficial gerado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina. A área de estudo foi dividida em sub-bacias hidroológicas para se ter uma maior variedade de dados do local.

Os resultados encontrados referentes à diminuição do volume e da vazão de escoamento superficial gerado em toda área de estudo foram satisfatórios, porém, é necessário cautela e ressalvas. O fato da análise da área, principalmente para o uso e ocupação do solo, ter sido executada, em sua maioria, através de imagens de satélite do ano de 2011 interfere na atualidade dos dados, podendo haver erros nas análises feitas.

Sobre a utilização do modelo de simulação SWMM notou-se a dificuldade de trabalhar com áreas que apresentam grande variabilidade topográfica. Já que o modelo considera bacias hidrográficas como retângulos, com larguras e declividades únicas, tornando sua utilização um pouco trabalhosa dependendo da área a ser estudada. Além disso, a falta de bibliografias sobre o modelo e trabalhos com os mesmos objetivos e, por consequência falta de dados e parâmetro confiáveis referentes as técnicas sustentáveis no Brasil, foi um desafio a ser superado.

O fato de as técnicas compensatórias terem sido aplicadas em áreas já desenvolvidas e dentro do campus universitário reduziu o número de técnicas realistas para a universidade, por exemplo, a utilização de valos de infiltração acabou sendo descartada.

A efetividade das técnicas utilizadas foi menor ao que estava sendo planejado. As bibliografias revisadas indicavam a enorme eficiência dos pavimentos permeáveis, porém são necessárias grandes áreas para essa técnica. Principalmente para a Sub-Bacia 2, ou Sub-Bacia do Rio Carvoeira, a qual possui maior urbanização, porém menor área dentro do campus da UFSC, tornando-se um obstáculo para a satisfação dos objetivos desse trabalho. Ao final, a técnica de jardim de chuva foi a responsável pela grande diminuição de escoamento superficial da sub-bacia, tornando os resultados dela próximos da satisfação total.

Grande parte do material consultado relacionado às técnicas sustentáveis é de origem estrangeira, portanto acredita-se que os critérios e parâmetros relacionados ao regime de chuvas e particularidades de área de estudo são únicos de cada local, tornando-se fatores limitantes para caracterização, dimensionamento e eficiência dessas técnicas. Para um cenário real esses critérios poderiam ser reavaliados.

O desenvolvimento dos cenários juntamente com projetos arquitetônicos e biológicos, principalmente para os jardins de chuva e telhados verde, detalhados resultaria em resultados mais efetivos.

De todo modo, acredita-se que a efetividade das técnicas sustentáveis aplicadas ao campus da UFSC foi elevada e justa, já que apenas medidas estruturais de drenagem foram tomadas, deixando para outro momento o investimento em medidas não estruturais. O fato das técnicas estarem limitadas à área do campus foi um redutor de eficácia, pois a sub-bacia mais urbana e que mais sofre com o impacto do escoamento superficial ainda possui, mesmo com todas as técnicas exaustivamente aplicadas, um canal que sofre com inundações. Para sanar totalmente esse problema se faz necessário seguir os ideais de Pompêo (2000) e Tucci (2007), explanados no item 3.4, criar e aplicar soluções estruturais e não estruturais em conjunto com a Universidade Federal de Santa Catarina, a Prefeitura Municipal de Florianópolis e toda a comunidade entorno à universidade, com educação ambiental, oficinas de drenagem, um plano diretor que preguje o desenvolvimento urbano alinhado com o saneamento e a drenagem, elaborado de forma interdisciplinar e com a participação da população, que os problemas em relação à drenagem e o volume de escoamento superficial gerado na Bacia do Rio do Meio serão resolvidos.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Como exposto no item anterior, para estudos futuros seria interessante realizar análises mais completas das técnicas sustentáveis utilizadas nesse trabalho, pavimentos permeáveis, jardins de chuva e telhados verde. Analisar o custo-benefício para o campus com a implementação dessas técnicas.

Uma grande evolução desse estudo seria a obtenção de dados e parâmetros de campo, técnicas, entre outros de forma mais concreta, ou seja, com visitas e ensaios de campo possibilitando um comparativo com o presente trabalho. Aliado a isso tem-se a possibilidade de avaliar outras técnicas não simuladas e comparar as eficiências das mesmas.

De forma mais prática seria a aplicação das ideias, discussões e resultados desse estudo. Sendo realizado em conjunto com profissionais capacitados e de forma interdisciplinar, parcerias entre a Pró-Reitoria de Administração da UFSC (PROAD), departamentos de Engenharia Civil, Engenharia Sanitária e Ambiental, Arquitetura, Agronomia, Biologia, entre tantos outros, Prefeitura Municipal e comunidade.



## REFERÊNCIAS

- A Gazeta. **Medidas poderiam reduzir prejuízos em Rio Negrinho**. Enchente. 2014. Disponível em: <<http://www.gazetasbs.com.br/site/noticias/medidas-poderiam-reduzir-prejuizos-em-rio-negrinho-651>>. Acesso em: 2 de agosto de 2018.
- AQUINO, Maria Eduarda Fagundes de. **Análise da Relação Chuva-Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio do Meio utilizando o HEC-HMS**. 2017. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2017.
- BARATTO, Romullo. **Oito exemplos de que é possível despoluir os rios urbanos**. 2014. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-168964/oito-exemplos-de-que-e-possivel-despoluir-os-rios-urbanos>>. Acesso em: 22 de agosto de 2018.
- BARBOSA, Vanessa. **McDonald's em Singapura ganha telhado verde**. 2014. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/mcdonald-s-em-singapura-ganha-telhado-verde/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. ABRH, 2011.
- BENEVENUTO, Andrey. **Concreto permeável: UFF pesquisa soluções para uma urbanização sustentável**. 2018. Disponível em: <<http://www.uff.br/?q=noticias/15-08-2018/concreto-permeavel-uff-pesquisa-solucoes-para-uma-urbanizacao-sustentavel>>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.
- BRAGA, Benedito; TUCCI, C.; TOZZI, Marcos. **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle**. 1º Edição. Porto Alegre-RS. Editora da Universidade/UFRGS, 1998.
- BRANCO, Renata. **Pavimento Permeável**. Não Disponível. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=1530>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa Brasil-Urbanização**. [Rio de Janeiro], 2012. 1 mapa. Escala: 1:25000000. Disponível em: <[https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas\\_brasil/brasil\\_urbanizacao.pdf](https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_urbanizacao.pdf)>. Acesso em: 03/05/2018.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005.

CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. Reimpressão da edição de 1959. Caldwell, NJ. 1959

CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. MacGraw-Hill Book Co., 1964, New York.

CHUNG, Payton. **Storm Water Retention Park**. 2017. Disponível em: <[http://www.awa.asn.au/AWA\\_MBRR/Publications/Water\\_e-Journal/Vol\\_2\\_No\\_4\\_McPhail\\_WSUD.aspx](http://www.awa.asn.au/AWA_MBRR/Publications/Water_e-Journal/Vol_2_No_4_McPhail_WSUD.aspx)>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.

City Of Portland. **Stormwater Management Manual**. City of Portland, Oregon. 2016. 502 p.

da SILVA, C.V.F.; OLIVEIRA, C. de P.M.; GARCIA, J.I.B.; YAZAKI, L.F.O. de L.; NATALE, O.; BRITES, A.P.Z. **Scenario Evaluation of Alternatives for Flood Control in the Anhangabaú Watershed, Brazil**. 6th International Conference on Flood Management, São Paulo, Brazil, set. 2014. p. 12.

ECOTELHADO; POLETTO, Alexandre. **Telhado verde: conheça 60 projetos e veja como funciona esta cobertura**. Não Disponível. Disponível em: <<https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA; Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: 1979. 83 p.

FRANCO, Fernando de Mello; MOREIRA, Marta; BRAGA, Milton. Vázios de Água. **Urbs: Urbanismo Sustentável?**, São Paulo, v. 44, p. 48-53, out./nov./dez. 2007.

FLORIANÓPOLIS. IPUF. **Atlas do município de Florianópolis**. Coordenação de Maria das Dores de Almeida Bastos. Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis: 2004. 166p.

LEITE, Bruna Pereira; FUJIMURA, Jéssica Mayumi; FERNANDES, Jhenifer Stéfani de Araújo. **Avaliação dos Impactos na Drenagem com a Implantação de Telhados Verdes na UFMT - Campus Cuiabá Utilizando o Software SWMM**. 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cuiabá, Mato Grosso, 22 out. 2016. p. 10.

LEOPOLD, Luna B. **Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use**. 1. ed. Washington: United States Department of the Interior, 1968. 26 p.

JATO-ESPINO, Daniel, et al. **Rainfall–Runoff Simulations to Assess the Potential of SuDS for Mitigating Flooding in Highly Urbanized Catchments**. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel, Suíça, 21 jan. 2016, MDPI, p. 13.

MANCUSO, Filippo. **São Paulo teve maior enchente de sua história em 1929**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sao-paulo/rios-de-sao-paulo/noticia/sao-paulo-teve-maior-enchente-de-sua-historia-em-1929.ghtml>>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

MARTINS, Lucas Rangel. **Viabilidade Técnica da Construção de Banhados no Espaço Urbano para Controle Quali-quantitativo do Escoamento Pluvial**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. 110 p.

MENTENS, Jeroen; RAES, Dirk; HERMY, Martin. **Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century?**. Department of Land Management, Laboratory for Forest, Nature & Landscape Research, Leuven, Bélgica, 13 mai. 2005. p. 10.

MOREIRA, David Luersen. **Aplicabilidade de Técnicas de Drenagem de Baixo Impacto no Campus da Universidade Federal de Santa Maria**. 2016. 70 p. Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

MULUNGO, Hermínio Elias. **Estudo de Inundação na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis-SC**. 2012. 171 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2012.

NATIONAL GUIDE TO SUSTAINABLE MUNICIPAL INFRASTRUCTURE. **Source and On-site Control for Municipal Drainage Systems**. Canadá, 2003. 48p. Disponível on-line em <<http://www.infraguide.gc.ca>> Acesso em 02 mai. 2018.

NOORDHOEK, Robin. **Using Water-Sensitive Urban Design to Improve Drainage Capacity**. Student Undergraduate Research E-journal, 2015, University of Twente, v. 1. p. 4.

NRCS, Natural Resources Conservation Service. **Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall**. Washington, DC: United States Department of Agriculture. no 10. 2004.

NRCS, Natural Resources Conservation Service. **Hydrologic Soil Groups**. Washington, DC: United States Department of Agriculture. no 7. 2009.

OLIVEIRA, Aline da Nóbrega; COSTA, Maria Elisa Leite; SILVA, Clarice Carvalho; SOUZA, Fernanda Pereira; BEZERRA, Maria do Carmo de Lima; KOIDE, Sérgio. **Avaliação de Usos de Técnicas Compensatórias em Sub Bacia do Lago Paranoá - Brasília-DF**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Santa Catarina, 22 dez. 2017. p. 8.

PEREIRA, José Marques. **Santos Antigamente**. Canais de Santos. 2006. Disponível em:<<http://www.novomilenio.inf.br/santos/fotos071.htm>>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.



PIVETTA, Marcos. **Ilha de calor na Amazônia**. Pesquisa FAPESP, v. 200, Out. 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/ilha-de-calor-na-amazonia/>>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

PMF. Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Plano municipal integrado de saneamento básico: produto 6: Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**. Florianópolis: PMF. 2009. 117 p.

PMF, Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Ofinas para Diagnóstico da Drenagem Urbana no Município de Florianópolis**. 2017. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/oficina/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 2003. 540 p.

RIBEIRO, Brito. **A Impermeabilização dos Solos**. 2015. Disponível em: <<https://vilapraiaideancora.blogs.sapo.pt/a-impermeabilizacao-dos-solos-106771>>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

ROBERSON, Kelly. **6 Steps to Make a Rain Garden**. Não Disponível. Disponível em: <<https://www.bhg.com/gardening/landscaping-projects/landscape-basics/make-a-rain-garden/>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

SANTOS, L. L. **Modelos Hidráulicos-Hidrológicos: Conceitos e Aplicações**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, n. 3, p. 1-19, 2009.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; NETO, F. L. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v. 10, n. 4, 2005, p. 5-18.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; NETO, F. L. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 10, no. 4, p 19-29, out/dez. 2005.

SOUSA, Sávio Pedro Cavalcante. **Avaliação do Impacto da Urbanização Sobre o Escoamento Superficial por Meio de Simulação Hidrológica**. 2016. 72 p. Trabalho de Conclusão do Curso - Centro de Tecnologias, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SOUZA, Christopher Freire. **Mecanismos Técnico-institucionais para a Sustentabilidade da Drenagem Urbana**. 2005. 193 f.. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SHIFMAN, Laura. **Urban Environmental Science – why is it important and what is the big deal?**. 2017. Disponível em: <<https://envirobites.org/2017/08/02/urban-environmental-science-why-is-it-important-and-what-is-the-big-deal-2/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.

TOSCANO, Bruna. **Aplicação e Análise dos Dados de Entrada no Modelo Matemático HEC-HMS para o Mapeamento de Áreas de Inundação no Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC)**. 2018. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2018.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 1. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 942 p.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**, org. por TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TUCCI, Carlos EM. Drenagem urbana. **Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUCCI, Carlos E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, Carlos E.M. **Inundações Urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. v. 11, p. 389.

US EPA, United States Environmental Protection Agency. **Storm Water Model Management User's Manual Version 5.1**. Cincinnati: Office of Research and Development, Water Supply and Water Resources Division, 2015. 353 p.

WI DNR, Wisconsin Department of Natural Resources. **Rain Gardens: A How-To Manual for Homeowners**. Madison, Wisconsin, United States. 2003. 32 p.



**APÊNDICE A – Tabela resumo das características físicas das sub-bacias utilizadas para as simulações**

<b>Sub-Bacias</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Largura Característica (m)</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Área Impermeável (%)</b>
Sub-Bacia 1	0,84	560,56	25,57	34,93
Sub-Bacia 2	0,78	478,05	26,00	46,74
Sub-Bacia 3	2,39	698,81	24,72	31,93

<b>Sub-Bacia</b>	<b>Manning SP</b>	<b>Manning SI</b>	<b>AD Permeável</b>	<b>AD Impermeável</b>	<b>CN</b>
Sub-Bacia 1	0,499	0,0129	0,246	0,05	73
Sub-Bacia 2	0,447	0,0131	0,238	0,05	78
Sub-Bacia 3	0,366	0,0129	0,217	0,05	74

*SP = Superfície Permeável; SI = Superfície Impermeável; AD = Armazenamento em Depressões*

**APÊNDICE B – Tabela com os dados do evento de chuva dos dias  
10 e 11 de janeiro de 2018**

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	01/11/2018	00:20	1,6
01/10/2018	22:05	0	01/11/2018	00:25	1,8
01/10/2018	22:10	0	01/11/2018	00:30	2,6
01/10/2018	22:15	0,4	01/11/2018	00:35	6,4
01/10/2018	22:20	0,6	01/11/2018	00:40	3,6
01/10/2018	22:25	1	01/11/2018	00:45	3,2
01/10/2018	22:30	2,4	01/11/2018	00:50	1,6
01/10/2018	22:35	4,2	01/11/2018	00:55	1,4
01/10/2018	22:40	3	01/11/2018	01:00	1,8
01/10/2018	22:45	3	01/11/2018	01:05	2,4
01/10/2018	22:50	6,8	01/11/2018	01:10	4,6
01/10/2018	22:55	7,4	01/11/2018	01:15	5,4
01/10/2018	23:00	5,2	01/11/2018	01:20	4,6
01/10/2018	23:05	3,6	01/11/2018	01:25	5,2
01/10/2018	23:10	2,2	01/11/2018	01:30	3,4
01/10/2018	23:15	4,6	01/11/2018	01:35	3,6
01/10/2018	23:20	6,8	01/11/2018	01:40	5,4
01/10/2018	23:25	2,8	01/11/2018	01:45	3
01/10/2018	23:30	3	01/11/2018	01:50	2,6
01/10/2018	23:35	1,2	01/11/2018	01:55	1,4
01/10/2018	23:40	1	01/11/2018	02:00	1
01/10/2018	23:45	1,4	01/11/2018	02:05	0,8
01/10/2018	23:50	1,6	01/11/2018	02:10	0,6
01/10/2018	23:55	2,2	01/11/2018	02:15	0,4
01/11/2018	00:00	1,2	01/11/2018	02:20	0,4
01/11/2018	00:05	1,4	01/11/2018	02:25	0,2
01/11/2018	00:10	3,6	01/11/2018	02:30	0,2
01/11/2018	00:15	3,2	-	<b>Total (mm)</b>	143,00

**APÊNDICE C - Tabela com os dados do evento de chuva dos dias  
10 e 11 de janeiro de 2018**

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
01/16/2018	22:10	0
01/16/2018	22:15	0,2
01/16/2018	22:20	0
01/16/2018	22:25	0
01/16/2018	22:30	0,4
01/16/2018	22:35	1,8
01/16/2018	22:40	0,8
01/16/2018	22:45	0,6
01/16/2018	22:50	0,8
01/16/2018	22:55	3,4
01/16/2018	23:00	4,2
01/16/2018	23:05	2,8
01/16/2018	23:10	1,6
01/16/2018	23:15	1,8
01/16/2018	23:20	1
01/16/2018	23:25	1,2
01/16/2018	23:30	1,2
01/16/2018	23:35	0,8
01/16/2018	23:40	0,4
01/16/2018	23:45	0,2
01/16/2018	23:50	0,2
01/16/2018	23:55	0,4
01/17/2018	00:00	1
01/17/2018	00:05	0,8
01/17/2018	00:10	0,8
01/17/2018	00:15	0,8
01/17/2018	00:20	0,6
01/17/2018	00:25	0,6
01/17/2018	00:30	0,6
01/17/2018	00:35	0,6
01/17/2018	00:40	0,6
01/17/2018	00:45	0,6
01/17/2018	00:50	0,4
01/17/2018	00:55	0,2
01/17/2018	01:00	0
01/17/2018	01:05	0,2
01/17/2018	01:10	0
	<b>Total (mm)</b>	<b>31,60</b>

## APÊDICE D – Hidrogramas da Bacia do Rio do Meio com e sem técnicas sustentáveis

