

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE**

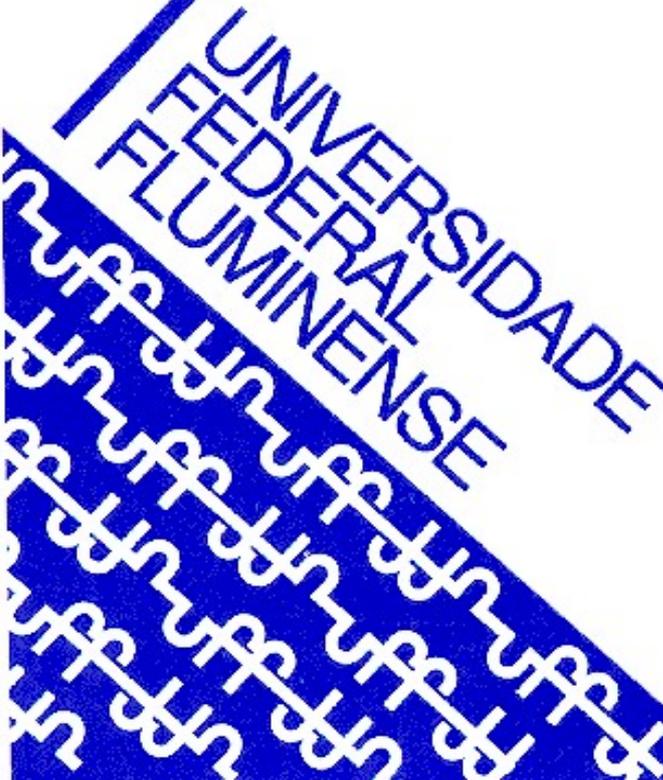
**PROJETO FINAL EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE II**

**DANIELLA GDANSKI**

**DIMENSIONAMENTO DE TELHADO  
VERDE COM SISTEMA DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA  
PLUVIAL**

Orientador:  
Prof. Marcelo Wangler Ávila, M.Sc

NITERÓI, RJ  
Janeiro/2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E**  
**DO MEIO AMBIENTE**

**DANIELLA GDANSKI**

**DIMENSIONAMENTO DE TELHADO VERDE COM SISTEMA DE**  
**APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**

NITERÓI  
2017

**DANIELLA GDANSKI**

**DIMENSIONAMENTO DE TELHADO VERDE COM SISTEMA DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**

Projeto Final II de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do Grau de Graduação em Engenharia Ambiental.

**ORIENTADOR**

**PROF. MARCELO WANGLER ÁVILA, M.Sc**

NITERÓI

2017



# Agradecimentos

Agradeço a minha mãe e ao meu pai por sempre me apoiarem em todas as etapas da minha vida e principalmente nessa. Sempre estiveram presentes e por perto, fosse com palavras ou apenas olhares e sorrisos, e gestos. Também à minha irmã.

Agradeço especialmente ao meu namorado, Roberto, que tornou essa jornada mais prazerosa. Sempre compreensivo e amoroso, me auxiliando nesse processo de todas as maneiras possíveis.

Agradeço também a alguns colegas de curso que me auxiliaram em processos e com informações para a elaboração desse trabalho.

Agradeço as amigas que fiz nessa trajetória dentro da faculdade, presentes que a UFF me deu e que vou levar para sempre comigo. Sem elas, tudo certamente teria sido muito mais difícil e mais triste.

Agradeço à todos os professores e corpo docente que se dedicaram para tornar as aulas mais prazerosas e o curso de melhor qualidade.

Agradeço principalmente ao orientador deste trabalho de conclusão de curso, Marcelo Ávila, pelas discussões e sugestões que enriqueceram este trabalho.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar,  
não seremos capazes de resolver os problemas  
causados pela forma como  
nos acostumamos a ver o mundo”.*

*(Albert Einstein)*

# Resumo

A chuva como evento espontâneo decorrente do movimento do ciclo hidrológico é capaz de irrigar e prover, naturalmente, água para os corpos hídricos e os seres vivos. Oriundos do desequilíbrio desse ciclo, causado pelo homem e sua constante ocupação das áreas, grandes catástrofes em bacias hidrográficas são provenientes da pressão causada ao sistema de infraestrutura criado, que, ao longo do tempo não consegue suportar a força desses impactos negativos. A sustentabilidade no contexto do manejo das águas pluviais urbanas surge como oportunidade de sustentação para essas pressões, uma vez que objetiva auxiliar na reestruturação do ciclo hidrológico natural. Fundamentado nesse conceito esse trabalho discute sobre a viabilidade técnica quanto a implementação de um telhado verde com sistema de aproveitamento de água pluvial no edifício da reitoria da Universidade Federal Fluminense. O sistema de aproveitamento consiste em um reservatório em que a água acumulada será aproveitada para descarga de vasos sanitários. A capacidade do reservatório foi calculada através de quatro métodos distintos: Azevedo Netto, Prático Inglês, Rippl e Prático Alemão. Verificou-se, por fim, que o telhado verde com sistema de aproveitamento pluvial é um sistema que proporciona inúmeros benefícios como redução no volume de escoamento superficial e, conseqüentemente, uma diminuição no aporte à rede de drenagem urbana pública, além de promover a utilização da água pluvial e, por conseguinte, refrear a exploração de recursos naturais e a utilização da água potável originária de abastecimento público. Em relação ao volume do reservatório, a quantidade de água precipitada e a demanda possuem grande influência.

**Palavras-chave:** drenagem urbana, sustentabilidade, telhado verde

# Abstract

The rainfall, as an spontaneous event of the hydrologic cycle, naturally irrigates and provides water to the hydric bodies and living beings. Due to unstabilities within this cycle, caused by mankind and the continuous settlement of new areas, big catastrophes at hydrologic bays are generated from the pressure imposed by the infrastructure built around, which throughout the time do not handle the strenght of negative impacts. Sustainability, within the context of rainfall water management, raises as an opportunity to weaken such pressures since aims at recovering the natural hydrologic cycle. Based on a sustainable rainfall water management, this work discuss the technical feasibility of a green roof with a water recycling system to be implemented in the rector building of the Federal Fluminense University. The water recycling system consist of a reservoir that will supply water to the toilets of the building. The reservoir volume was estimated by 4 distinct methods: Azevedo Netto, british practice, RIPPL and german practice. At the end, it is pointed out that the green roof with a water recycling system prove to be beneficial since reduce the volume of superficial water runoff and, consequently, low impact into the public sewer system. Besides, it promotes a smart reuse of water rainfall and cut down the consumption of water from the public services. Regarding the reservoir design, precipitation and demand are crucial parameters on the suitable volume.

**Key words:** urban drainage, sustentability, green roof.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – <i>Vazão consumida pelo diversos setores. Extraído de (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010).</i> . . . . .	19
Figura 2 – <i>Comparação de retenção do escoamento de águas de chuva em telhado verde e telhado convencional de mesmo tamanho, em Ottawa, Canadá. Extraído de SHISHGAR (2012).</i> . . . . .	21
Figura 3 – <i>Diagrama da metodologia de estudo empregada neste trabalho.</i> . . . . .	33
Figura 4 – <i>Imagem da macrobacia e sub-bacias do município de Niterói, RJ.</i> . . . . .	36
Figura 5 – <i>Pontos de enchentes e inundações em Niterói. Mapa extraído do relatório técnico do plano diretor de desenvolvimento urbano da Prefeitura de Niterói.</i> . . . . .	37
Figura 6 – <i>Imagem do cruzamento entre a Av. Roberto Silveira e Rua Presidente Backer, Niterói, completamente alagada após forte chuva no dia 29 de Fevereiro de 2016. Extraído de <a href="http://www.osaogoncalo.com.br/geral/13173/cidades-debaixo-de-agua">http://www.osaogoncalo.com.br/geral/13173/cidades-debaixo-de-agua</a></i> . . . . .	38
Figura 7 – <i>Organograma para auxiliar na decisão de técnica compensatória a ser implementada.</i> . . . . .	40
Figura 8 – <i>Ortofoto: foto equivalente geometricamente a um mapa de traço, onde todos os pontos estão representados na mesma escala dos objetos fotografados, podendo seus elementos serem medidos e vetorizados com precisão. Com ela, é possível medir distâncias, posições, ângulos e áreas como num mapa qualquer. Fonte: Secretaria de Urbanismo e Mobilidade Niterói.</i> . . . . .	42
Figura 9 – <i>Tabela criada no software ArcGis, versão 10.4, para cálculo da área selecionada. A área foi medida em m<sup>2</sup>.</i> . . . . .	42
Figura 10 – <i>Média mensal de precipitação no posto meteorológico do INMET na Ilha Fiscal. A média foi calculada a partir da série histórica disponível (1961 a 1984 e 2001 a 2016). Este posto é o mais próximo ao bairro de Icaraí e, portanto, representativo da precipitação nessa localidade.</i> . . . . .	43
Figura 11 – <i>Comparação entre o aspecto da água do escoamento superficial sem e com cobertura vegetal. Extraído de ROBERTSON (2005).</i> . . . . .	45

Figura 12 – <i>Sistema de aproveitamento de água pluvial. Modificado de DORNELLES (2012).</i> . . . . .	51
Figura 13 – <i>Telas do software Plúvio 2.1.</i> . . . . .	58
Figura 14 – <i>Vazões dos telhados convencional e verde obtidos a partir da tabela apresentada no capítulo anterior.</i> . . . . .	62

# Lista de tabelas

Tabela 1	– Valores do consumo médio per capita de água dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2014 e na média dos últimos três anos, segundo estado, região geográfica e Brasil. Extraído de (BRASIL, 2014). . . . .	20
Tabela 2	– Tabela com os coeficientes de escoamento superficial para diferentes tipos de sistema e área. Extraído de TUCCI (2003, 2005). †Limite da área de regulamentação.	24
Tabela 3	– Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis. Nota: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio. <sup>a</sup> No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção. <sup>b</sup> uT é a unidade de turbidez. <sup>c</sup> uH é a unidade Hazen . . .	25
Tabela 4	– Usos finais da água para fins não potáveis em dez edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. *Limpeza, rega de jardins e lavagem de carros. **Valor obtido através da média dos oitos edifícios com mictórios. . . . .	29
Tabela 5	– Contribuição diária de esgoto despejado por tipo de construção civil. Extraído da NBR 16969/1997. . . . .	30
Tabela 6	– Características geográficas e meteorológicas do município de Niterói, RJ. . . . .	36
Tabela 7	– Classes de cobertura vegetal e uso do solo do bairro de Icaraí. . . . .	39
Tabela 8	– Coeficiente de escoamento para telhado verde de acordo com sua espessura e inclinação. Extraído de OHNUMA JR (2008). . . . .	46
Tabela 9	– Coeficientes de runoff conforme LEED existing buildings 2009. Extraído de TOMAZ (2005). . . . .	46
Tabela 10	– Tabela com o dimensionamento do reservatório no método Azevedo Netto. . . . .	52
Tabela 11	– Tabela com o dimensionamento do reservatório no método Inglês. . . . .	53
Tabela 12	– Tabela com o dimensionamento do reservatório no método RIPPL. <sup>a</sup> Precipitação média mensal; <sup>b</sup> Volume aproveitável; <sup>c</sup> Demanda - Volume aproveitável; <sup>d</sup> Diferença acumulada. . . . .	55

Tabela 13 – Tabela com o dimensionamento do reservatório no método RIPPL. <sup>a</sup> Precipitação média mensal; <sup>b</sup> Volume aproveitável; <sup>c</sup> Demanda - Volume aproveitável; <sup>d</sup> Diferença acumulada. . . . .	56
Tabela 14 – Tabela com o dimensionamento do reservatório de acordo com a Lei Municipal nº2630/2007. . . . .	58
Tabela 15 – Tabela criada a partir de cálculos realizados em Planilha Excel e que evidencia os valores obtidos para vazão de água de chuva de um telhado convencional e do Telhado Verde pensado nesse estudo. . . . .	59
Tabela 16 – Síntese dos valores de volume calculados por diferentes métodos de dimensionamento.	60

# Sumário

	<b>Lista de ilustrações</b>	<b>7</b>
	<b>Lista de tabelas</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	Prólogo	15
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	Relevância do Projeto	18
1.4	Estrutura do Projeto	22
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>24</b>
2.1	Tempo de retorno em projetos de drenagem urbana	24
2.2	Qualidade da água da chuva	25
2.3	Legislação sobre águas pluviais	28
2.4	Consumo de água em edifícios	29
2.5	Curvas IDF	30
2.6	Pluvio 2.1	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>33</b>
3.1	Modelo metodológico do estudo	33
3.2	Área de Estudo	34
3.2.1	Processo de urbanização do Município	34
3.2.2	Características do Município	35
3.2.3	Diagnóstico de drenagem de Niterói e do bairro de Icaraí	36
3.2.4	O bairro de Icaraí	38
3.2.5	Escolha da medida: telhado verde	39

<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DE TÉCNICA COMPENSATÓRIA . . .</b>	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Dados pluviográficos . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Telhado verde com sistema de aproveitamento de água pluvial . .</b>	<b>44</b>
4.2.1	Estrutura da cobertura verde . . . . .	46
4.2.1.1	Camada impermeabilizante . . . . .	47
4.2.1.2	Membrana antirraízes . . . . .	47
4.2.1.3	Camada drenante . . . . .	47
4.2.1.4	Camada Filtrante . . . . .	48
4.2.1.5	Substrato . . . . .	48
4.2.1.6	Vegetação . . . . .	49
4.2.2	Dimensionamento do reservatório . . . . .	50
4.2.2.1	Azevedo Netto . . . . .	52
4.2.2.2	Método prático Inglês . . . . .	53
4.2.2.3	RIPPL . . . . .	53
4.2.2.4	Método prático Alemão . . . . .	56
4.2.2.5	LEI . . . . .	57
<b>4.3</b>	<b>Vazão do projeto a partir da curva IDF . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>63</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>66</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Prólogo

No Brasil, o desenvolvimento urbano decorreu de um intenso movimento migratório de trabalhadores do campo e de imigrantes do pós II Guerra Mundial. O aumento populacional nas cidades urbanas em um curto espaço de tempo, associado às transformações sociais, econômicas e ambientais, induziu um processo de urbanização caracterizado como multifacetado, acelerado e desordenado.

O impacto dessa ocupação é, até os dias atuais, sentido nas bacias hidrográficas através das recorrentes inundações durante os períodos de chuvas. BRUNO et al. (2013) concluíram, em seus estudos experimentais, que o aumento da vazão máxima em uma bacia hidrográfica está diretamente relacionado com a impermeabilização do solo, como consequência da ocupação da bacia pela população, podendo implicar em modificações que causam, por exemplo, aumento da frequência e da magnitude das cheias dos rios urbanos como também o da velocidade do escoamento durante os eventos de cheia, além da diminuição da recarga dos aquíferos subterrâneos.

O aumento das áreas impermeabilizadas, do adensamento populacional e, conseqüentemente, da demanda de água potável são fatores preocupantes. Adicionalmente, o descarte inadequado de materiais provenientes do consumo de produtos industrializados contribui para a contaminação ambiental, interferindo diretamente na qualidade das águas pluviais e no funcionamento eficiente da rede de drenagem existente.

Nas últimas décadas, a qualidade do meio ambiente e a permanência da vida na Terra vêm ganhando destaque nos noticiários internacionais e nas agendas das principais economias mundiais, gerando uma demanda por medidas sustentáveis. No âmbito da drenagem urbana, REZENDE et al. (2013) compreende que a sustentabilidade implica em não transferência das inundações urbanas no espaço e no tempo e, por isso, o processo de urbanização e controle de ocupação e uso do solo urbano devem ser pensados visando a mitigação de impactos sobre

o ciclo hidrológico natural. Esse conceito, assim colocado, pode ser visto de outra maneira, conforme afirma SOBRINHO e NEVES (2015), de que a drenagem sustentável considera a importância dos princípios do ciclo hidrológico, preocupando-se com sua manutenção, no tempo e no espaço, bem como em relação à qualidade da água. No entanto, a maioria dos projetos de infraestrutura não contribuem significativamente para o equilíbrio do balanço hídrico, isto é, não possuem o intuito de zerar o impacto causado ao ciclo hidrológico anterior ao lote ocupado OHNUMA JR (2005).

Valorizando esse conceito de sustentabilidade, inúmeras abordagens similares surgiram recentemente, embora com algumas particularidades, para tratar o manejo de águas pluviais nas cidades com melhores estruturas que se aproximam desse novo pensamento. Dentre elas, merecem destaque as técnicas de LID (*Low Impact Development*), SUDS (*Sustainable Urban Drainage System*) e WSUD (*Water Sensitive Urban Design*).

No Brasil, NASCIMENTO e HELLER (2005) denominam essas mudanças conceituais como técnicas compensatórias de drenagem pluvial, as quais buscam a integração de requisitos de gestão das águas no zoneamento urbano e a gestão de risco de inundação, além de alterarem paradigmas de gestão de águas nos meios urbanos com mais de um século de existência.

Para ROSSI (2014), o conceito de LID, adotado nos Estados Unidos, pode ser associado com o conceito de Impacto Zero adotado no Brasil, cuja definição é a mitigação ou eliminação dos impactos causados pelo processo de urbanização sobre o sistema de drenagem existente a fim de reestabelecer as vazões pré-urbanização, isto é, vazão resultante da bacia hidrográfica antes de ser ocupada. Segundo esta definição, o sistema de drenagem ideal é aquele que conduz o escoamento superficial sem gerar impactos superiores quando comparados aos naturais da bacia, tanto a montante quanto a jusante do ponto considerado. O conceito de Impacto Zero é uma atribuição realizada tanto pelo meio técnico quanto pelo poder público o qual é responsável, principalmente, pela implantação de medidas institucionais que viabilizarão a sustentabilidade do meio urbano no contexto do manejo das águas pluviais.

Em busca de soluções para a equalização da drenagem urbana atual, é interessante avaliar a água de chuva, por exemplo, como um bem passível de captação de áreas como telhado, pisos e do próprio solo, podendo ser infiltrada, ou apenas acumulada de forma segura, antes de ser

finalmente dispensada. Sendo assim, a adoção de técnicas para captação de água nas edificações e implementação de coberturas verdes constitui uma medida de inúmeros benefícios e funcionalidades a qual deve ser intensificada a fim de promover a mitigação dos impactos negativos causados pelo escoamento a jusante e o armazenamento de água para posterior consumo (Plano Nacional de Recurso Plano Nacional Recursos Hídricos, 2006).

Dentro de todo o contexto descrito, a partir da caracterização de uma área estudada, será elaborado um projeto para implementação de telhado verde com reservatório para armazenamento de água pluvial, visando sua contribuição para a sustentabilidade do manejo de águas pluviais, apresentando a própria estrutura e o dimensionamento dessa medida estrutural. Serão analisados, também, os impactos positivos causados no entorno pelo projeto.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

A partir da revisão de literatura realizada no Projeto Final I, dimensionar numa área real de interesse dispositivo de cobertura verde sobre telhado com sistema de aproveitamento de água pluvial captada por esse telhado, propiciando a sustentabilidade no manejo das águas pluviais, através da redução do volume de escoamento superficial e a melhoria da qualidade das águas pluviais urbanas, viabilizando ainda seu aproveitamento.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar e analisar o comportamento hidrológico de uma área real no município de Niterói
- Escolha da técnica compensatória a ser implementada
- Dimensionar a técnica compensatória escolhida
- Avaliar os benefícios que essa técnica pode potencialmente causar no entorno da área escolhida

### 1.3 Relevância do Projeto

Além de ser uma componente prevista no Saneamento Básico, o manejo de águas pluviais pode ser associado a inúmeras problemáticas existentes na atualidade, sendo estas nos âmbitos sociais, econômicos, ambientais, e até mesmo de saúde pública. Todas estas estão relacionadas, uma vez que a qualidade do meio ambiente que nos circunda afeta a vida da população, a qual depende dele para sua existência, podendo trazer prejuízos em todas essas esferas e em diferentes escalas.

Embora a dengue não seja considerada uma doença de veiculação hídrica do ponto de vista clássico, pois sua ocorrência não está relacionada diretamente à qualidade da água utilizada pela população ou à presença de coleta e tratamento de esgoto, assim como a malária por exemplo, ela está sim relacionada ao manejo de águas pluviais no município. Apresenta, tanto na cidade de Niterói quanto no estado do Rio de Janeiro, número de ocorrências muito superior em comparação às demais doenças analisadas. No período entre 2001 e 2013 foram mais de 78 mil casos, somente no município, e entre 2001 e 2012 quase um milhão de notificações em todo o estado do Rio de Janeiro, de acordo com o relatório do Plano Municipal de Saneamento Básico, 2015, da prefeitura de Niterói.

Outro ponto relevante a ser ressaltado é que a superfície da bacia hidrográfica fornece, para a sociedade, os recursos naturais necessários para sua sobrevivência. No entanto, a falta de planejamento na ocupação aliada a exploração desses recursos sem nenhum cuidado trazem sérias consequências, como os típicos problemas de drenagem urbana além da deterioração da qualidade desses recursos. Por isso, é importante que esse inconveniente seja encarado pela sociedade como um todo, e não apenas no meio técnico e científico (ROSSI, 2014).

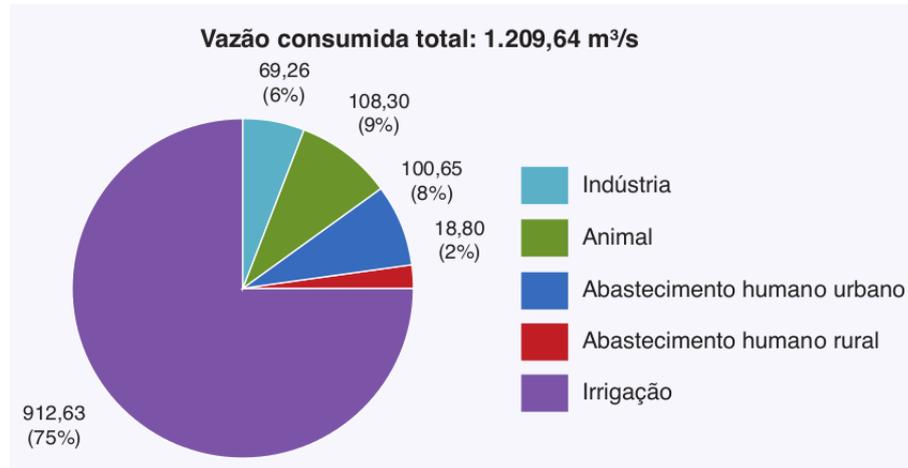


Figura 1 – Vazão consumida pelo diversos setores. Extraído de (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010).

Como exemplo e maior correlação com esse trabalho, pode-se citar a exploração intensiva do recurso natural água doce, pois ela é a fonte principal para irrigação (mais de 75%, Fig. 1), consumo (cerca de 10%, Fig. 1), indústrias como a de alimentos, têxtil e celulose (cerca de 6%, Fig. 1), fornecimento de energia, entre outros. Sua deterioração é decorrente dos produtos desses processos de utilização, como efluentes domésticos e industriais, e a água utilizada na agricultura devido ao uso de agrotóxicos. Na Tabela 1, nota-se que o consumo está crescendo ao longo dos anos e que, na região geográfica em que está localizado o estado do Rio de Janeiro, o Sudeste, ele é o mais elevado. Com o intuito de diminuir a quantidade utilizada, devem ser avaliados meios como a conscientização ambiental da população, por exemplo.

Estado / Região	IN <sub>022</sub> (l/hab.dia) Média últimos 3 anos	IN <sub>022</sub> (l/hab.dia) Ano 2014	Variação Média / 2014
Acre	164,0	184,5	12,5%
Amazonas	161,7	168,4	4,2%
Amapá	176,4	135,9	-22,9%
Pará	149,1	142,3	-4,6%
Rondônia	184,9	187,7	1,5%
Roraima	149,0	152,7	2,5%
Tocantins	136,9	134,3	-1,9%
Norte	155,3	154,2	-0,7%
Alagoas	115,9	100,8	-13,0%
Bahia	114,1	113,5	-0,5%
Ceará	128,0	129,8	1,4%
Maranhão	197,1	140,8	-28,6%
Paraíba	136,7	125,2	-8,4%
Pernambuco	107,0	106,1	-0,9%
Piauí	136,7	143,7	5,1%
Rio Grande do Norte	116,6	113,8	-2,4%
Sergipe	122,7	120,7	-1,6%
Nordeste	125,3	118,9	-5,1%
Espírito Santo	193,1	198,0	2,5%
Minas Gerais	157,5	154,1	-2,1%
Rio de Janeiro	249,3	250,8	0,6%
São Paulo	186,7	179,4	-3,9%
Sudeste	192,2	187,9	-2,2%
Paraná	145,1	144,9	-0,2%
Rio Grande do Sul	154,9	162,9	5,2%
Santa Catarina	154,5	153,5	-0,6%
Sul	150,9	153,6	1,8%
Distrito Federal	186,4	180,5	-3,2%
Goiás	146,5	148,2	1,2%
Mato Grosso do Sul	155,5	154,8	-0,4%
Mato Grosso	157,6	161,9	2,7%
Centro-Oeste	158,7	158,8	0,1%
Brasil	165,3	162,0	-2,0%

Tabela 1 – Valores do consumo médio per capita de água dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2014 e na média dos últimos três anos, segundo estado, região geográfica e Brasil. Extraído de (BRASIL, 2014).

Também pode ser observado na Tabela 1, que o consumo médio *per capita* de água no estado do Rio de Janeiro é bastante elevado quando comparado com as demais Unidades da Federação. De fato, com 250,8 l/hab.dia em 2014, o estado apresenta valor 33,5% acima da média da região Sudeste e 54,9% acima da média do país (Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2016).

Com o propósito de auxiliar no abastecimento, volumes significativos de água de chuva poderiam ser aproveitados pelas populações locais dos grandes centros urbanos, reduzindo o consumo da rede de abastecimento de água potável e a crescente frequência de inundações que escoam superficialmente (Ministério do Meio Ambiente, Plano Nacional de Recursos Hídricos, 2006). A implementação de um telhado verde, por exemplo, pode reduzir quantitativamente o escoamento superficial das águas pluviais (Fig. 2), além de possibilitar a utilização dessas águas através da construção de um reservatório associado.

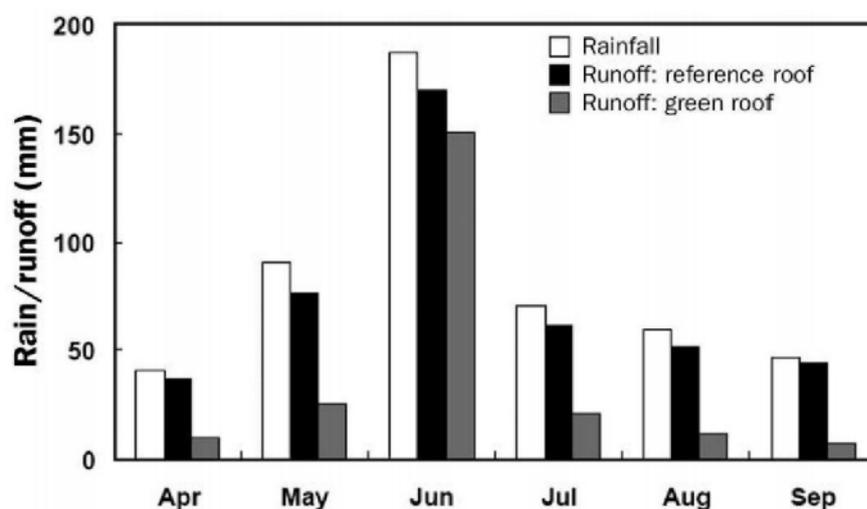


Figura 2 – Comparação de retenção do escoamento de águas de chuva em telhado verde e telhado convencional de mesmo tamanho, em Ottawa, Canadá. Extraído de SHISHEGAR (2012).

Nas áreas urbanas, o aproveitamento das águas pluviais promove inúmeros benefícios em diferentes âmbitos como o social-econômico e o ambiental, além de auxiliar a infraestrutura existente responsável pelo manejo das águas pluviais. Ao que diz respeito ao social-econômico, o aproveitamento das águas provenientes da chuva proporciona redução no consumo de água advinda das concessionárias para fins não nobres, o que consequentemente reduz, de modo significativo e proporcional, o custo na utilização dessas águas. Na esfera ambiental, acarreta diminuição da exploração de recursos hídricos de fontes naturais, as quais são passíveis de escassez como ocorrido no início de 2015 no estado de São Paulo, permitindo que essas águas sejam destinadas prioritariamente a alimentação e dessedentação, além de promover maior conscientização quanto ao uso da água potável. Devido à utilização da água precipitada, o volume que vai para a rede de drenagem é menor, isto é, há uma redução do escoamento superficial, coope-

rando com essa estrutura existente e minimizando a possibilidade de alagamentos e inundações que causam inúmeros prejuízos econômicos e de saúde à população.

Segundo a AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2005), o aproveitamento das águas pluviais requer a gestão da qualidade e da quantidade da mesma, de modo a não comprometer a saúde dos seus usuários, tampouco a vida útil dos sistemas envolvidos.

Este projeto, na sua essência, pretende promover a qualidade ambiental ao estimular a diminuição da necessidade de captar recursos naturais, através da implementação do reservatório de água de chuva associado ao telhado verde, compondo assim, medidas mitigatórias, as quais possuem o objetivo de propiciar a redução dos impactos negativos para a própria população, a qual depende desse equilíbrio e dessa qualidade.

## 1.4 Estrutura do Projeto

A presente obra está estruturada em 6 capítulos, sendo o primeiro, já inicialmente exposto, o de introdução separado em 4 subseções. Na primeira subseção está o prólogo, onde há uma contextualização acerca das adversidades ocasionadas pela urbanização, como as inundações, e sobre o conceito de sustentabilidade na esfera do manejo de águas pluviais. A segunda subseção consiste no objetivo do trabalho, dividida entre o objetivo geral e os objetivos específicos a serem atingidos. A terceira subseção cita a relevância do projeto, isto é, o porquê da escolha deste tema como trabalho de conclusão de curso da graduação de engenharia de recursos hídricos e meio ambiente e o motivo de sua importância na atualidade. Por fim, a quarta é esta onde será apresentada toda a estrutura deste.

O 2º capítulo apresenta a fundamentação teórica, isto é, toda a revisão de literatura realizada em relação às abordagens utilizadas ao longo de todo o trabalho.

No 3º capítulo é discutido o modelo metodológico empregado no trabalho, bem como apresentação do estudo da área realizado. Também está evidenciada a orientação para a escolha da medida sustentável abordada.

No 4º capítulo fica evidenciado o grande desenvolvimento desse projeto, onde são apresentados a estrutura idealizada detalhadamente além de todos os cálculos realizados através de métodos distintos.

No 5º capítulo, são apresentados e analisados sinteticamente os resultados obtidos com os cálculos desenvolvidos no capítulo anterior.

O 6º capítulo refere-se à conclusão realizada baseada em todo o estudo feito e tratado neste presente trabalho.

## 2 Revisão da literatura

### 2.1 Tempo de retorno em projetos de drenagem urbana

Em hidrologia, o conceito de tempo de retorno é utilizado com frequência no estudo probabilístico de eventos máximos anuais como enchentes, por exemplo. Também chamado de tempo de recorrência, está associado ao risco hidrológico, que é usualmente aplicado em projetos de estruturas hidráulicas de controle de cheias, definido como a probabilidade de que tal evento seja igualado ou superado pelo menos uma vez, num período determinado de anos (NAGHETTINI, 2007).

Segundo TUCCI (2002), existem vários manuais e livros na literatura que definem os riscos para a microdrenagem, considerando o tempo de retorno de 2 a 5 anos e para a macrodrenagem, considerando o tempo de retorno de 10 a 100 anos.

De acordo com TUCCI (2005), o risco (tempo de retorno) adotado para um projeto deve ser definido em função dos investimentos envolvidos na obra e os prejuízos que são aceitáveis. Para adequada avaliação econômica e social dos impactos das enchentes, deve-se realizar um estudo que possui alto custo para pequenas áreas. Portanto, geralmente podem ser adotados riscos de acordo com a tabela abaixo (Tabela 2). Conforme pode ser visualizado na Tabela 2, o tempo de retorno utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos.

Tabela 2 – Tabela com os coeficientes de escoamento superficial para diferentes tipos de sistema e área.

*Extraído de TUCCI (2003, 2005). †Limite da área de regulamentação.*

Sistema	Característica	Intervalo	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	5
	Aeroporto	5 - 10	5
	Áreas comerciais e avenidas	5 - 10	10
Macrodrenagem		10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100 <sup>†</sup>

Segundo a NBR 10844, o período de retorno deve ser definido de acordo com as características da área a ser drenada, obedecendo ao estabelecido a seguir:  $T = 1$  ano, para áreas pavimentadas as quais empoçamentos possam ser tolerados;  $T = 5$  anos, para coberturas e/ou terraços;  $T = 25$  anos, para coberturas e áreas onde empoçamentos ou extravasamentos não são tolerados. Além disso, a duração da precipitação deve ser fixada com tempo de concentração ( $t$ ) igual a 5 min.

## 2.2 Qualidade da água da chuva

TOMAZ (2005) define que a qualidade da água da chuva pode ser avaliada em quatro etapas diferentes: antes de atingir o solo; após escorrer pelo telhado; no interior do reservatório, e, no momento do uso.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis. Nota: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio. <sup>a</sup>No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção. <sup>b</sup>uT é a unidade de turbidez. <sup>c</sup>uH é a unidade Hazen

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	semestral	ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	semestral	ausência em 100 mL
Cloro residual livre <sup>a</sup>	mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	mensal	< 2,0 uT <sup>b</sup> para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	mensal	< 15 uH <sup>c</sup>
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

De acordo com DE LUNA et al. (2014), a água de precipitação que se forma através do processo de condensação na atmosfera, no movimento natural do ciclo hidrológico, é bastante pura. No entanto, essa água é passível de alteração de sua composição devido aos componentes presentes na atmosfera e os constituintes da carga poluidora originada nos centros urbanos e industriais. Salvo raras exceções, a mesma apresenta boa qualidade, compatível com os padrões estabelecidos pela NBR nº 15527/2007 (ABNT, 2007) (Tabela 3), que fornece os requisitos para o aproveitamento da água de chuva em usos não potáveis. Mesmo que a NBR 13969/1997

(ABNT, 1997) apresente os parâmetros para reuso da água, pode-se afirmar que a qualidade da água pluvial também está compatível com os padrões sugeridos por ela, do mesmo modo que ela também está de acordo com a AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2005). O uso em bacias sanitárias está enquadrado como classe 3 na norma da ABNT, a qual indica que a água dessa classe deve possuir turbidez inferior a 10 e coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Além de classe 1 pela AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2005) que define que os usos preponderantes para as águas tratadas desta classe, nos edifícios, são basicamente para descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.), lavagem de roupas e de veículos. De acordo com AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2005), a água que será utilizada para descarga em bacias sanitárias deve seguir as seguintes recomendações:

- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve deteriorar os metais sanitários;
- não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Até mesmo em sua porção mais poluída, isto é, o primeiro volume de água precipitado, SILVA et al. (2012), assim como DE LUNA et al. (2014), afirma que a água pluvial desta apresenta qualidade que satisfaça o critério de águas doces de classe 1 da Resolução CONAMA Nº 357/2005, a qual se destina, dentre outros usos, ao abastecimento humano após tratamento simplificado. Entretanto, esta não alcança os padrões de potabilidade definidos na Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Antes de atingir o solo, TOMAZ (2005) afirma que particularidades como a localização geográfica da área de referência, suas condições meteorológicas, dentre elas: intensidade, duração, estação do ano, regime de ventos e o tipo de chuva, presença ou ausência de cobertura vegetal e de fontes poluidoras afetam diretamente na composição da água precipitada. Como exemplo,

pode-se citar que a água precipitada, quando próxima do oceano, possui elementos como sódio, potássio, magnésio, cloro e cálcio de modo proporcional ao encontrado na água marinha. Por sua vez, elementos oriundos da composição terrestre, como a sílica, o alumínio e o ferro, ademais dos de origem biológica como o nitrogênio, o fósforo e o enxofre são encontrados em águas precipitadas em áreas mais distantes do litoral. Centros urbanos e pólos industriais, por exemplo, apresentam águas de chuva alteradas quimicamente, dada a concentração de gases poluentes, tais como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), além de metais como o chumbo e o zinco, por exemplo.

A fim de garantir a qualidade da água na entrada do reservatório até o momento de uso, TOMAZ (2005) aponta algumas medidas que devem ser tomadas. São elas: existência de tampa de inspeção, a qual deve ser fechada hermeticamente; presença de grade na saída do extravasor para impedir entradas de animais pequenos além de bloqueio de entrada de luz solar no reservatório para não haver possibilidade de surgimento de algas. Assim como preconizado na norma NBR 15527 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007), a limpeza do reservatório deve ser realizada anualmente.

Desse modo, sugere-se que a água pluvial seja utilizada para fins menos restritivos, ou como cita a norma NBR 15527 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007), usos não potáveis, como descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, calçadas e veículos e regas de jardim. Ainda de acordo com esta norma, podem ser observados os parâmetros da qualidade da água no momento do uso.

Uma vez que o local de estudo está situado no município de Niterói, é importante também considerar a legislação municipal com relação à qualidade da água destinada a fins não nobres. As diretrizes para a qualidade da água estão contempladas na Lei 2630 do Município de Niterói (Lei nº2630, 2009), que, em seu artigo 8º descreve que as águas destinadas a fins não potáveis devem ser mantidas em reservatórios, em perfeitas condições sanitárias, preservando seu padrão de qualidade, atendendo às seguintes condições:

1. materiais flutuantes: virtualmente ausentes
2. odor e aspecto: não objetáveis

3. óleos e graxas: toleram-se incidências

4. pH: de 6 a 9.

## 2.3 Legislação sobre águas pluviais

O Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, decreta o Código das Águas, o qual preconiza, em seu artigo 103, que as águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas à vontade, salvo existindo direito em contrário (DE OLIVEIRA, 2008). Sendo assim, o aproveitamento das águas pluviais está dentro da legalidade, exceto quando há irregularidade disposta em alguma esfera legal.

De acordo com COELHO et al. (2016), cidades como o Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Niterói e São Paulo têm adotado ideias análogas no que tange à implementação de políticas públicas que buscam incentivar a população a auxiliar no controle das inundações urbanas através da construção de reservatórios em seus loteamentos. Assim, contribuem para o retardo do escoamento superficial e o amortecimento do pico de cheia.

Especificamente no caso da cidade de Niterói, a Lei de nº 2630, de 07 de janeiro de 2009 determina que as novas edificações, sendo públicas ou privadas, que possuem área impermeabilizada acima de quinhentos metros quadrados deverão possuir reservatório de águas pluviais. Estes podem ser tanto de acumulação quanto de retardo. Os primeiros são destinados a reservação da água precipitada e uso final não potável. Já os reservatórios do segundo tipo servem para acúmulo momentâneo das águas pluviais e posterior descarga na rede pública de drenagem (Lei nº 2630, 2009).

A NBR 15527 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007) dispõe os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Esta Norma é aplicada quando da utilização de águas pluviais, após tratamento adequado, em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, calçadas, ruas e pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Mesmo que cada município possua características específicas geográficas e meteorológicas, como o tipo dos eventos pluviométricos, a ocupação e o uso do solo, as quantidades variáveis

de áreas permeáveis e impermeáveis, os sistemas de drenagem, além de outras, COELHO et al. (2016) acreditam na importância da concepção de uma legislação, a nível federal ou norma técnica brasileira, que oriente, elegendo-se a melhor metodologia para cada município, como o reservatório de armazenamento de água ou retardo do escoamento superficial deve ser dimensionado e executado, com o objetivo de se obter a vazão de escoamento desses reservatórios.

## 2.4 Consumo de água em edifícios

Através da Tabela 4, publicada por KRAMMERS e GHISI (2006), a qual apresenta os usos finais da água em vasos sanitários, mictórios e outros como limpeza, rega de jardins e lavagem de carros, pode-se constatar que, geralmente, o consumo de água analisado para esses fins não potáveis representam praticamente a totalidade do consumo dos prédios, resultando numa média de 77%.

Tabela 4 – Usos finais da água para fins não potáveis em dez edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. \*Limpeza, rega de jardins e lavagem de carros. \*\*Valor obtido através da média dos oito edifícios com mictórios.

Edifício	Uso final de água (%)			
	Vaso sanitário	Mictório	Outros*	Total
Badesc	55,8	14,3	11,1	81,2
Celesc	31,9	32,8	6,6	71,3
Crea	23,0	47,0	3,9	73,9
Deter	66,6	—	1,8	68,4
Epagri	33,1	43,9	5,0	82,0
Secretaria de Agricultura	27,9	16,4	7,9	52,2
Secretaria de Educação	70,0	14,3	2,1	86,4
Secretaria de Segurança Pública	78,8	—	2,5	81,3
Tribunal de Contas	36,4	45,9	2,6	84,9
Tribunal de Justiça	53,2	29,9	5,8	88,9
<b>Média</b>	<b>47,7</b>	<b>30,6**</b>	<b>4,9</b>	<b>77,0</b>

De acordo com a Tabela 5, retirada da NBR 13969/1997, a contribuição diária de esgoto despejado, o que é equivalente ao consumo de água, num edifício público ou comercial onde existem funcionários, isto é, ocupantes temporários é de 50 L/dia/pessoa.

Considerando as Tabelas 4 e 5, pode-se calcular o consumo diário de água somente quando

Tabela 5 – Contribuição diária de esgoto despejado por tipo de construção civil. Extraído da NBR 16969/1997.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto L/d	Contribuição de carga orgânica gDBO <sub>5,20</sub> /d
<b>1. Ocupantes permanentes</b>			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	50
Padrão médio	Pessoa	130	45
Padrão baixo	Pessoa	100	40
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	30
Alojamento provisório	Pessoa	80	30
<b>2. Ocupantes temporários</b>			
Fábrica em geral	Pessoa	70	25
Escritório	Pessoa	50	25
Edifício público ou comercial	Pessoa	50	25
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	20
Bares	Pessoa	6	6
Restaurantes e similares	Pessoa	25	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	1
Sanitários públicos <sup>1)</sup>	Bacia sanitária	480	120
<sup>1)</sup> Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio de esportes, locais para eventos etc.).			

utilizado na descarga de vaso sanitário:

$$C_d = 0,477 \times 50\text{L}/\text{dia}/\text{pessoa} = 23,85\text{L}/\text{dia}/\text{pessoa}$$

## 2.5 Curvas IDF

Intensidade, duração e frequência são grandezas que determinam as precipitações máximas e que tem efeito direto sobre a erosão do solo, ocorrência de inundações nas áreas urbanas e rurais, entre outros. Portanto, para projetos de obras hidráulicas, tais como vertedores de barragens, sistemas de drenagem, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, entre outros, é fundamental ter conhecimento sobre essa equação dada sua aplicação nesses projetos. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para conhecer-se a vazão de enchente de uma bacia.

Segundo CECILIO e PRUSKI (2000), a principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação IDF, que significa intensidade, duração e frequência, e relaciona essas três propriedades da precipitação em uma mesma localidade. Essa equação é representada matematicamente da seguinte forma:

$$i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (2.1)$$

sendo  $i$  a intensidade da chuva, em mm/h,  $T$  o tempo de retorno, em anos,  $t$  a duração, em minutos. Os parâmetros  $K$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  são relativos à localidade.

## 2.6 Pluvio 2.1

No Brasil, a coleta de dados de precipitação não é extensa no tempo e no espaço geográfico. Estes são fatores que dificultam a obtenção de equações de chuvas intensas realistas. Sendo assim, é preciso analisar, interpretar e codificar uma grande quantidade de dados para se determinar os parâmetros dessas equações (eq. 2.1) (PRUSKI, 2008).

O Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos, criado em 1997, é vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Desde então, vem se destacando pelo desenvolvimento de trabalhos científicos e softwares na área de hidrologia.

O *software* Plúvio 2.1, desenvolvido pelo grupo, viabiliza a estimativa dos parâmetros da equação de chuvas intensas para qualquer localidade dos Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins. Além disso, pode-se consultar um banco de dados contendo valores desses parâmetros para diversas localidades dos demais estados brasileiros.

Considerando-se que a caracterização da equação IDF depende de quatro parâmetros (eq. 2.1) e a existência de prévia determinação de seus valores em inúmeras localidades, foi desenvolvida uma metodologia para obtenção de quinze equações de chuvas intensas em locais onde estas não são conhecidas. A metodologia citada é baseada no processo de interpolação, o qual viabiliza conhecimento dos parâmetros da equação a partir de informações disponibilizadas para o Estado. Assim, é possível definir parâmetros da equação para qualquer localidade inserida nos

Estados e, por conseguinte, conseguir a equação de chuvas intensas para um determinado local (PRUSKI, 2008).

Denomina-se interpolação como o método que permite a obtenção de um novo conjunto de dados a partir de um outro previamente conhecido. FIORIO et al. (2012) afirma que a interpolação é realizada de forma independente para cada um dos parâmetros da equação IDF ( $K, a, b, c$ ), baseando-se nas informações das localidades dos estados que já possuem conhecimento de suas equações. O fator de ponderação utilizado corresponde ao inverso da quinta potência da distância entre as localidades nas quais os parâmetros já são conhecidos e o exato local (latitude e longitude) para o qual é pretendida a obtenção da equação. De acordo com CECILIO e PRUSKI (2003), esse método do inverso da quinta potência da distância é utilizado pelo software Pluvio 2.1 para espacialização dos dados de chuvas intensas.

## 3 Materiais e métodos

Este capítulo apresenta como o presente estudo foi realizado e suas etapas. Também descreve a localização da área de estudo, bem como as características de ocupação, geográficas e meteorológicas da área, que possui em sua composição, áreas permeáveis e impermeáveis.

### 3.1 Modelo metodológico do estudo

A metodologia do trabalho foi fundamentada no objetivo geral (sub-seção 1.2.1). Visando alcançar os objetivos geral e específicos, uma linha de construção desse estudo foi traçada (Fig. 3).

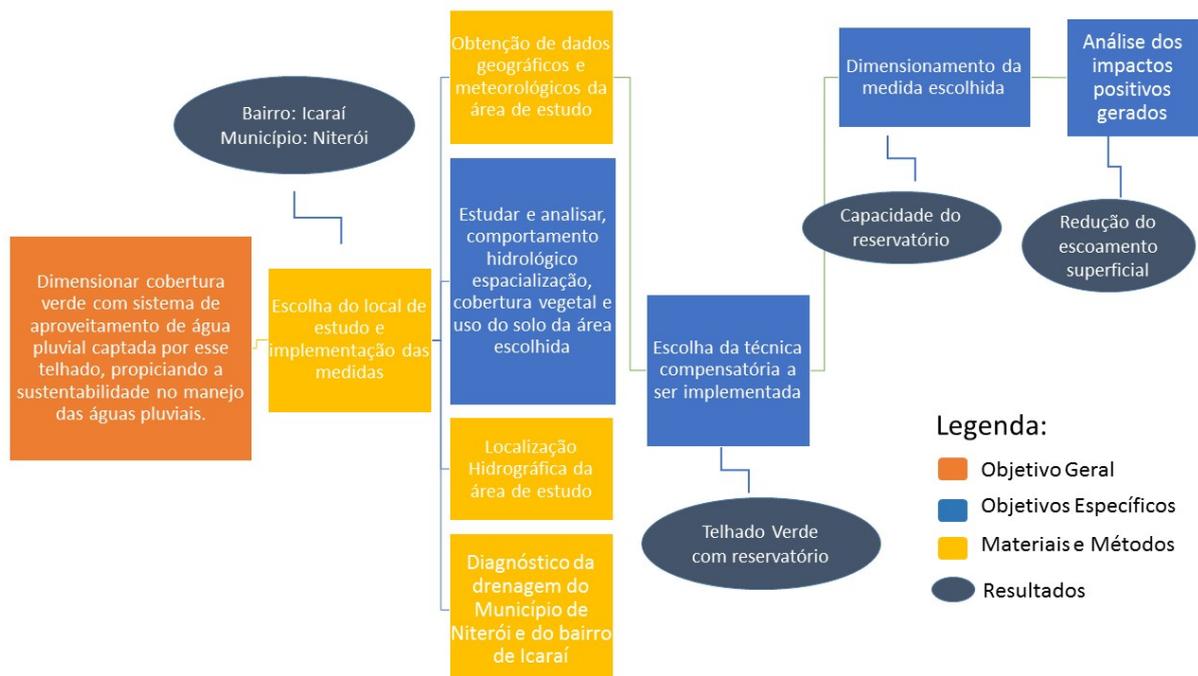


Figura 3 – Diagrama da metodologia de estudo empregada neste trabalho.

Baseando-se no objetivo geral, uma ampla revisão de literatura foi realizada acerca do tema de sustentabilidade urbana, e principalmente na esfera do manejo de águas pluviais, bem como em relação ao aproveitamento dessa água e os dispositivos existentes e possivelmente necessários para a elaboração desse projeto.

Primeiramente, foi escolhido o local de estudo. Dada a escolha, foram analisadas as características da área, em escala maior que no caso é a cidade de Niterói e em escala menor, o bairro de Icaraí, além de dados geográficos, meteorológicos, comportamento hidrológico, localização hidrográfica e o diagnóstico da drenagem urbana. Essa análise foi realizada através de intensa pesquisa bibliográfica para melhor conhecimento sobre a área adotada e suas especificidades.

Em função das características, limitações e do propósito do trabalho, a técnica compensatória a ser implementada foi eleita, dentre as que foram apresentadas no Projeto Final I.

Na etapa denominada como desenvolvimento, a medida estrutural escolhida foi dimensionada baseando-se em metodologias descritas e referenciadas em Normas e Decretos. Além disso, seus possíveis impactos positivos no futuro foram analisados através de cálculos.

Por fim, pôde-se verificar, através da construção de gráficos, possibilitada pelos cálculos realizados, os possíveis impactos positivos gerados pela implementação dessa medida.

## 3.2 Área de Estudo

A área de estudo foi definida no município de Niterói, por se tratar da localização do Campus da Praia Vermelha, da Universidade Federal Fluminense, e mais precisamente no bairro de Icaraí na própria reitoria da Universidade Federal Fluminense, que situa-se na Rua Miguel de Frias. Além disso, segundo o IBGE (2010), este bairro é o de maior densidade demográfica, com 32.377 habitantes/km<sup>2</sup> na cidade. Trata-se também de uma região onde foi possível conseguir dados confiáveis e consistentes de séries históricas de precipitação e parâmetros hidrológicos.

### 3.2.1 Processo de urbanização do Município

Tão logo foi renomada como capital do estado do Rio de Janeiro, na primeira metade do século XIX, teve início em Niterói um processo de urbanização com uma série de intervenções urbanísticas. O acesso a cidade se tornou muito mais fácil com o surgimento, em 1862, da Companhia de Navegação de Nictheroy, através da utilização das barcas na Baía de Guanabara (PERES, 2014).

Segundo DE ARAÚJO (2010), o processo de ocupação foi determinado pelas características

topográficas do município. Obras de arruamento, construção de prédios públicos, aterramento e estruturação da malha de transportes públicos são alguns exemplos de movimentos que consolidaram o processo de urbanização da cidade. Em razão dos principais meios de interligação da cidade, como a estação das barcas, a estação ferroviária e o porto situarem-se na área central, é fato que a estruturação urbana de Niterói se concentrava, em maior parte, naquela área. A expansão para ocupação de outras áreas pôde ser observada anos mais tarde, conforme o aumento da utilização de transporte coletivo. Com a inauguração da Ponte Rio – Niterói, houve intensificação do tráfego de automóveis e aumento expressivo da produção imobiliária nas áreas centrais e bairros litorâneos, propiciando a ocupação em direção às áreas de expansão natural da cidade, como a Região Oceânica. Assim, Niterói se torna mais atrativa e acaba por se tornar moradia para as populações intrametropolitanas. A grande concentração populacional, em espaço curto de tempo, ocasionou de modo precoce e inesperado, a saturação do sistema organizacional, o que provocou a necessidade de obras emergenciais para adequação às grandes demandas.

Atualmente, a cidade apresenta grande diversidade quanto a organização em relação a projetos políticos ambientais e sócio-culturais determinados pelo Plano Diretor, pelos regulamentos e pela legislação urbana. Em toda a cidade, podem ser evidenciados problemas urbanos em relação ao trânsito, a intensa verticalização de Icaraí e a inicialização nos bairros de São Francisco e Charitas, além da falta de investimento público distribuída de forma igualitária por todo o município pois há ausência de atenção à saúde e a organização básica de infraestrutura nos bairros da zona norte (DE ARAÚJO, 2010).

### 3.2.2 Características do Município

O município de Niterói, segundo UMMUS et al. (2008), está localizado na região metropolitana do Rio de Janeiro, limitado pelo município de São Gonçalo, ao norte, pelo município de Maricá, a oeste, pelo oceano Atlântico, ao sul e pela baía da Guanabara, a leste.

De acordo com IBGE (2010), Niterói conta com uma população de 487.562 habitantes e densidade demográfica de 3.640,8 habitantes/km<sup>2</sup>. A estimativa é que nesses anos a população teve acréscimo de 10.000 habitantes, totalizando 497.883 pessoas. As características geográficas e meteorológicas do município de Niterói são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características geográficas e meteorológicas do município de Niterói, RJ.

Medida	Quantid.	Unidade
Área total	133,919	km <sup>2</sup>
Área urbana	60	km <sup>2</sup>
Altitude média	2	m
Temperatura média anual	23,1 / 25,1	°C
Precipitação média anual	≈ 1200	mm
Bioma	–	Mata Atlântica
Clima	–	Tropical atlântico

O crescimento demográfico nos últimos 30 anos foi de 41,70%, tornando o município densamente povoado e propenso a ocupações irregulares em áreas de vegetação e de conservação ambiental (UMMUS et al., 2008).

### 3.2.3 Diagnóstico de drenagem de Niterói e do bairro de Icaraí

Em relação a localização hidrográfica da área de estudo, de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico da Prefeitura Municipal de Niterói (2014), o bairro de Icaraí encontra-se na Macrobacia da Baía de Guanabara e na Sub-bacia do Rio Icaraí (Fig. 4).

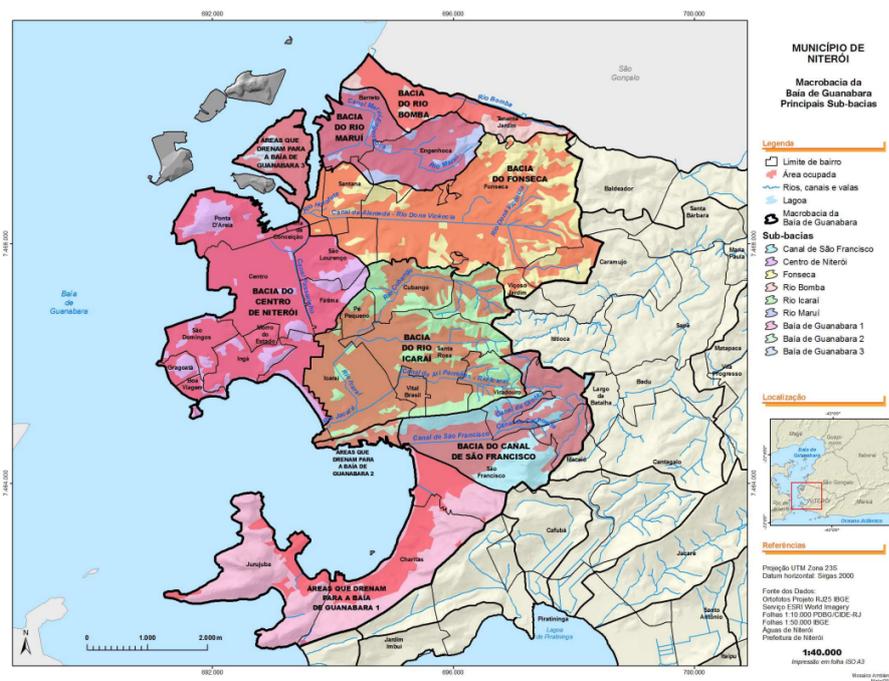


Figura 4 – Imagem da macrobacia e sub-bacias do município de Niterói, RJ.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 realizada pelo Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dentre os 92 municípios do Estado do Rio de Janeiro, apenas 6 possuem Plano Diretor de Manejo de águas pluviais, sendo que Niterói não é um desses. A cidade também não possui Plano Integrado de Saneamento Básico. Em contrapartida, Niterói é um dos 19 municípios do Estado que possuem Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, além de possuir Plano Diretor de Recursos Hídricos.

Intensamente urbanizada, a sub-bacia do Rio Icaraí, localizada no município de Niterói (RJ), é densamente povoada em suas encostas e margens de canais. Por isso, as obras de canalização realizadas para o manejo de águas pluviais, acabaram por modificar, e muitas vezes recobrir, os cursos naturais dos rios, alterando assim os parâmetros hidrológicos da bacia e consequentemente seu comportamento. Diante deste contexto, enchentes e inundações ocorrem nas áreas de planície, principalmente em função do aumento da vazão decorrente do elevado e acelerado escoamento superficial (LAGOEIRO et al., 2014). Isso pode ser visualizado na Fig. 5, a qual evidencia os principais pontos de alagamentos e inundações na cidade.

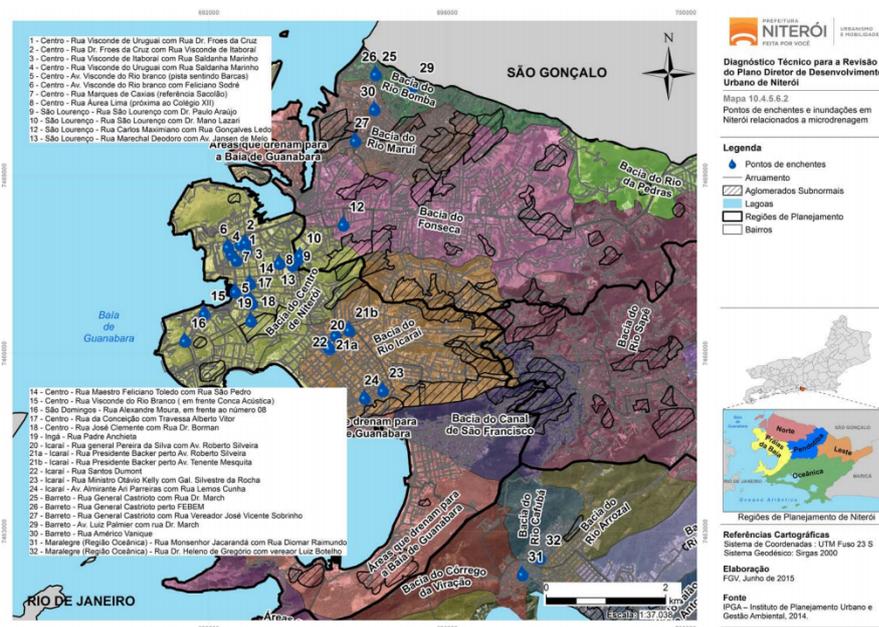


Figura 5 – Pontos de enchentes e inundações em Niterói. Mapa extraído do relatório técnico do plano diretor de desenvolvimento urbano da Prefeitura de Niterói.



Figura 6 – Imagem do cruzamento entre a Av. Roberto Silveira e Rua Presidente Backer, Niterói, completamente alagada após forte chuva no dia 29 de Fevereiro de 2016. Extraído de <http://www.osaogoncalo.com.br/geral/13173/cidades-debaixo-de-agua>

O ponto 21a corresponde a esquina da Rua Presidente Backer com a Avenida Roberto Silveira. Esse ponto é realmente crítico, como pode ser observado na foto (Fig. 6), o qual ficou completamente alagado em fevereiro de 2016 em função das fortes chuvas.

### 3.2.4 O bairro de Icaraí

A construção da Ponte Presidente Costa e Silva (Ponte Rio - Niterói), nos anos de 1970, propiciou um acréscimo populacional significativo no bairro de Icaraí. Este se consolidou como centro urbano polarizador e de grande valor para a cidade, com concentração de comércio, serviços e atividades de lazer. O estrangulamento do município do Rio de Janeiro impulsionou a metropolização do município de Niterói e intensificou o processo de verticalização imobiliária (DA SILVA et al., 2010).

Caracteriza-se pelo bairro de maior crescimento nas três últimas décadas, a princípio por ser um ambiente que poderia absorvê-lo e, posteriormente, pelos índices de infraestrutura que recebera ao mesmo tempo em que crescia. A ocupação das encostas e morros teve crescimento de destaque na época da crise econômica vivenciada na década de 1980, aliada à supervalorização dos terrenos no entorno de Icaraí (DE ARAÚJO, 2010).

De acordo com DA SILVA et al. (2010), Icaraí é o bairro mais populoso da cidade, contando com 16 % da população de Niterói. O crescimento acelerado de bairros como Icaraí evidencia muitos problemas de infraestrutura e de planejamento, demonstrando a necessidade de estudo mais profunda e detalhada quanto ao futuro dessas áreas.

Beneficiadas por um aumento na população local e pelo desenvolvimento da infraestrutura básica desta área, as atividades de cunho econômico aumentaram consideravelmente. Icaraí hoje é um bairro predominantemente de classe média e média alta. A renda *per capita* se situa em torno de R\$ 4.000,00, o que significa cinco vezes mais alta que a média nacional. Com relação à prestação de serviços à população local, o bairro é caracterizado como centro urbano polarizador e de grande relevância para a cidade, com forte concentração de comércio, serviços e atividades de lazer (Ana Lucia, 2014).

Essa intensa urbanização fica evidenciada na Tabela 7, pois a área ocupada no bairro é de 85,1%.

Geograficamente, o bairro é limitado por outros bairros titulados de Santa Rosa, Vital Brasil, São Francisco, Ingá, Morro do Estado, Centro, Fátima, Pé Pequeno e as águas da Baía de Guanabara.

Tabela 7 – *Classes de cobertura vegetal e uso do solo do bairro de Icaraí.*

Bairro	Uso e cobertura	Área (km <sup>2</sup> )	%
Icarai	Área ocupada	2,070	85,1
	Cordão arenoso	0,114	4,7
	Floresta	0,130	5,3
	Gramíneas	0,082	3,4
	Vegetação arbutiva ou área arborizada	0,038	1,6
	<b>TOTAL</b>	<b>2,433</b>	<b>100</b>

### 3.2.5 Escolha da medida: telhado verde

Em função da área escolhida, situada no bairro de Icaraí, será analisada hipoteticamente, a implementação de um telhado verde no prédio da reitoria da UFF. De acordo com o organograma apresentado (Fig. 7), somente foi avaliado uma condição para a decisão das técnicas compensatórias a serem implementadas, que foi a do espaço físico.

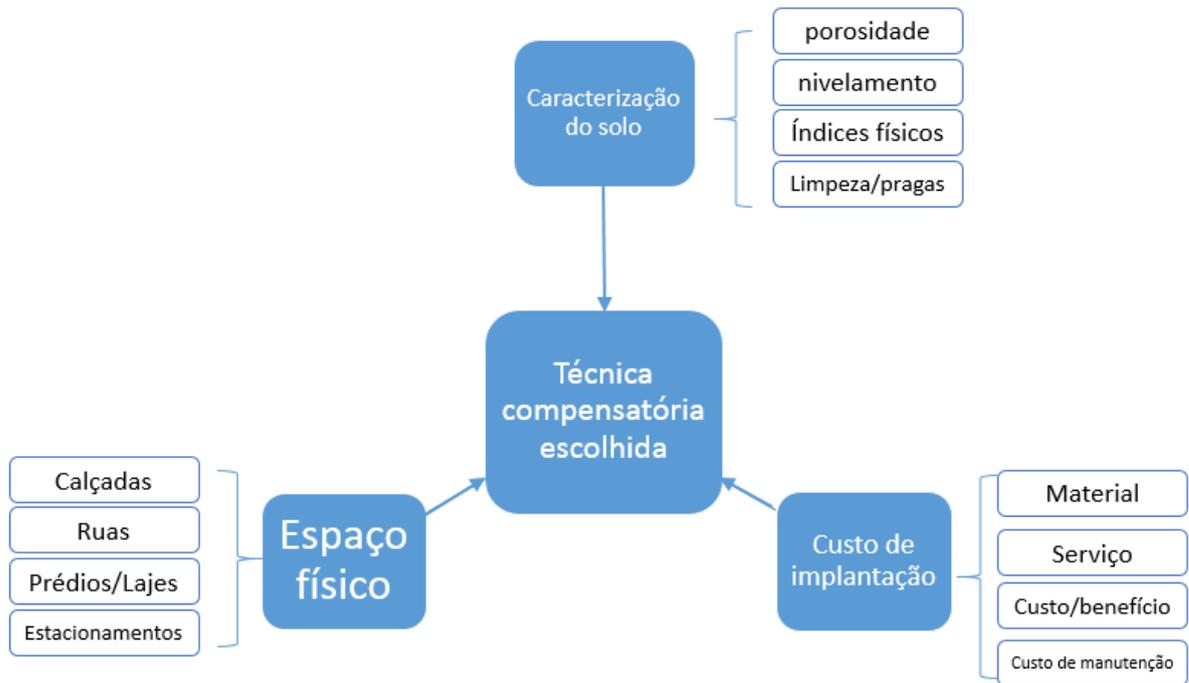


Figura 7 – Organograma para auxiliar na decisão de técnica compensatória a ser implementada.

Além da implementação do telhado verde na laje do prédio da reitoria, também será analisada, conjuntamente, a possibilidade de implantação de um reservatório para armazenamento e posterior aproveitamento da água precipitada. Isso possibilitará um menor consumo de recursos naturais, além de economia em relação a necessidade de água potável advinda da concessionária.

## 4 Dimensionamento de técnica compensatória

Para dimensionamento da técnica compensatória escolhida, isto é, o telhado verde associado ao reservatório para armazenamento da água pluvial, buscou-se uma foto de alta qualidade a fim de possibilitar cálculo de boa precisão da área da laje da reitoria.

A ortofoto abaixo (Fig. 8) foi obtida no site da Secretaria de Urbanismo e Mobilidade de Niterói.

Com a utilização do *software* ArcGis, Sistema de informação Geográfica, versão 10.4, foi possível realizar o georreferenciamento da ortofoto e calcular a área desejada, a qual será implementada o telhado verde, na área calculada denominada como laje (Fig. 9)

A partir do dado de área obtido dessa tabela, será adotado o seguinte parâmetro:

- Área do Telhado ( $A_t$ ) = 229 m<sup>2</sup>

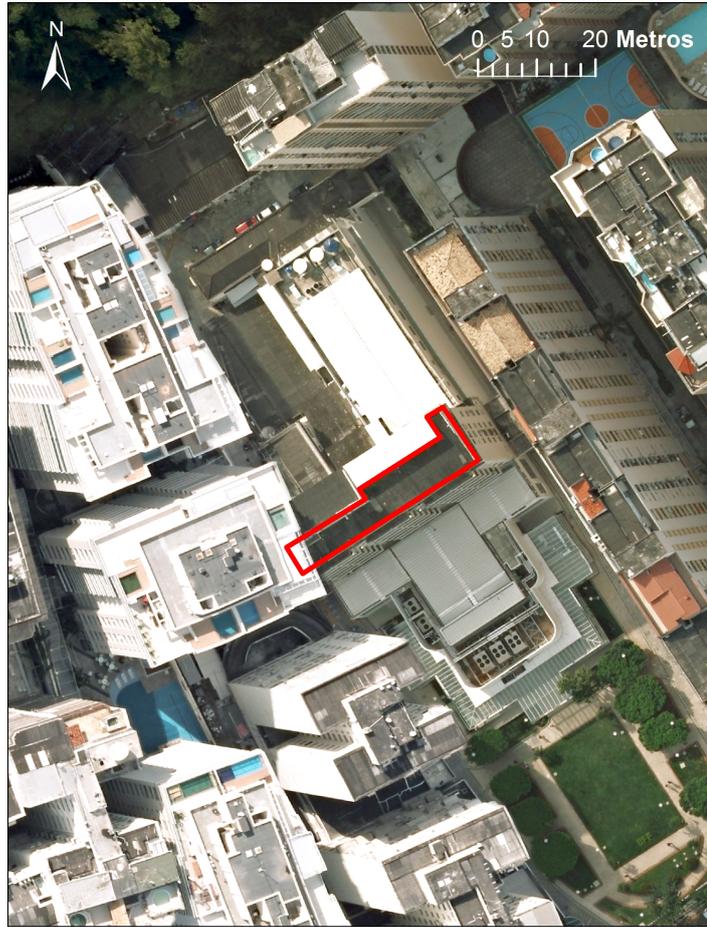


Figura 8 – Ortofoto: foto equivalente geometricamente a um mapa de traço, onde todos os pontos estão representados na mesma escala dos objetos fotografados, podendo seus elementos serem medidos e vetorizados com precisão. Com ela, é possível medir distâncias, posições, ângulos e áreas como num mapa qualquer. Fonte: Secretaria de Urbanismo e Mobilidade Niterói.

Table					
Area					
FID	Shape *	Id	area	Nome	
0	Polygon	0	228,482589	Laje	

Figura 9 – Tabela criada no software ArcGis, versão 10.4, para cálculo da área selecionada. A área foi medida em m<sup>2</sup>.

## 4.1 Dados pluviográficos

Para dimensionamento de reservatório, é necessário o conhecimento de séries históricas de precipitações, isto é, dados de chuva em determinada localidade obtidos através de postos pluviométricos instalados. Estes dados podem ser diários ou mensais e, quanto maior a quantidade fornecida, maior a confiabilidade dos resultados.

Sendo assim, foram obtidos dados do posto pluviométrico da Ilha Fiscal que pertence ao INMET. Este posto é o mais próximo da área de estudo e o que possui a maior quantidade de dados, além de maior confiabilidade. Os dados analisados são correspondentes ao período que se estende desde o ano de 1961 até os dias de hoje, mais precisamente, mês de junho de 2016, o que nos proporciona uma série histórica de mais de 50 anos corridos com dados de chuva diária e mensal. No entanto, dentro desse período, aproximadamente 18 anos (de 1984 a 2001) não contém dados, o que fez com que a série histórica ficasse dividida em duas partes: de 1961 até 1984, e de 2001 até 2016.

Através da consolidação desses dados, foi possível obter um gráfico que representa a distribuição de chuva média ao longo de um ano (Fig. 10).

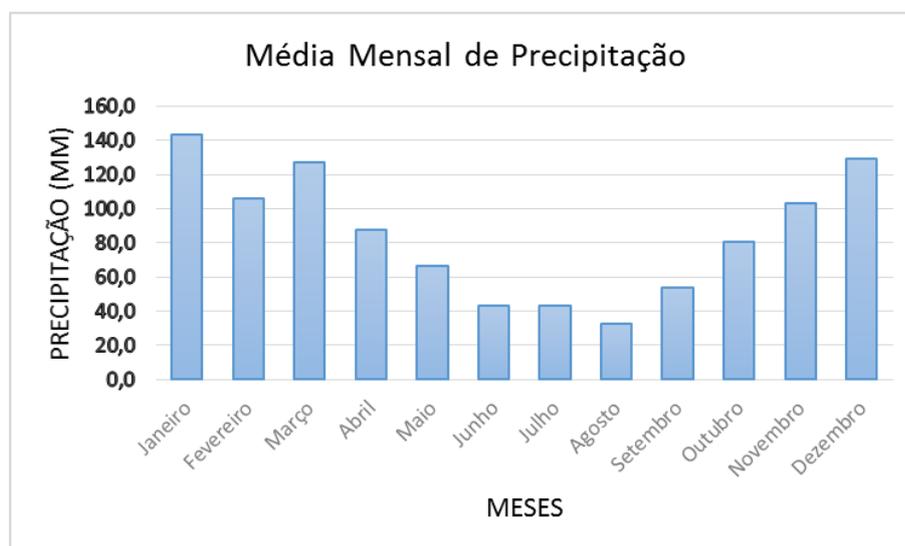


Figura 10 – Média mensal de precipitação no posto meteorológico do INMET na Ilha Fiscal. A média foi calculada a partir da série histórica disponível (1961 a 1984 e 2001 a 2016). Este posto é o mais próximo ao bairro de Icaraí e, portanto, representativo da precipitação nessa localidade.

Nesse gráfico fica evidenciado os períodos de maior média de precipitação, entre novembro e março, e de estiagem, que se estende de abril a outubro.

## 4.2 Telhado verde com sistema de aproveitamento de água pluvial

Segundo a Associação Internacional de Telhado Verde (IGRA, do inglês *International Green Roof Association*), este sistema armazena uma grande parte da precipitação anual e o libera para a atmosfera através da transpiração. Dependendo da espessura deste e da intensidade da chuva, é possível que haja água em excesso em determinados momentos, as quais devem ser drenadas para fora da área do telhado. Por isso, deve-se considerar a existência de um dreno ou calha extravasora quando essas precipitações intensas ocorrerem. A capacidade de retenção de água do telhado verde bem como o número de pontos de escoamento, tem de ser ajustado à precipitação média local. Esses pontos devem ser mantidos livres de substrato e vegetação e têm de ser controláveis em todos os momentos. Por questões de segurança, áreas de telhado verde com pontos de escoamento sempre devem ter duas saídas de drenagem, ou uma saída e um estouro de segurança.

FERREIRA e MORUZZI (2007) estabeleceram que alguns aspectos devem ser apreciados quando há pretensão de associação de um telhado verde a um sistema de aproveitamento de água da chuva. Eles podem ser subdivididos, tanto em relação a quantidade, quanto em relação à qualidade. Relativos ao volume passível de ser captado, isto é, a quantidade, observam-se: a profundidade da camada do substrato, a capacidade de evapotranspiração da vegetação utilizada, o intervalo e quantidade de chuvas e a área de captação da chuva. Em relação à qualidade da água, observam-se: a composição do substrato, a vazão do escoamento, o tipo de vegetação utilizado e o tempo de estabelecimento da vegetação.

De acordo com OHNUMA JR et al. (2014), os telhados verdes atuam como agentes “filtradores”, devido a capacidade de remoção de material sólido presente na água precipitada, de forma eficiente pelas gramíneas. Portanto, após passagem através do telhado verde, a qualidade da água costuma ser superior em relação à água incidente, evidenciando o potencial do aproveitamento de água da chuva (Fig. 11).



Figura 11 – Comparação entre o aspecto da água do escoamento superficial sem e com cobertura vegetal. Extraído de ROBERTSON (2005).

O coeficiente de escoamento  $C$  é um valor percentual, o qual corresponde ao volume de chuva relativo que é convertido para escoamento superficial. Através dele, pode-se inferir a eficiência de um telhado verde. Baixos valores de  $C$  apontam significativa eficiência do telhado verde, pois significa que apenas uma pequena parte da água precipitada se transforma em escoamento superficial, ao passo que valores mais elevados de  $C$  significam baixa eficiência deste sistema, visto que grande parcela da água da chuva transforma-se em escoamento de superfície (DE OLIVEIRA, 2009).

Segundo TASSI et al. (2014), o coeficiente de escoamento em um telhado verde, de acordo com estudos, pode variar em função da inclinação do mesmo, da espessura da camada de substrato, do tipo de vegetação utilizado e também da quantidade de água acumulada em sua estrutura no período que antecede o evento chuvoso, denominado como umidade antecedente do solo (UAS).

OHNUMA JR (2008) *apud* FLL (2002) afirma que o coeficiente de escoamento para telhados verdes varia conforme sua inclinação e espessura da camada de solo com vegetação. A tabela 8 apresenta coeficientes que foram estimados com base em eventos de precipitação de 300 L/s.ha em telhados previamente secos por 24 horas.

TOMAZ (2005) apresenta em seu livro os coeficientes de runoff retirados da fonte LEED existing buildings 2009 (tabela 9), a qual praticamente apresenta inúmeros coeficientes para superfícies de variados tipos. Não existe coeficiente igual a 1 pois sempre existe perda de água

Tabela 8 – Coeficiente de escoamento para telhado verde de acordo com sua espessura e inclinação. Extraído de OHNUMA JR (2008).

Espessura $e$ (cm)	Coeficiente de runoff para telhado verde	
	inclinação até $15^\circ$	inclinação acima de $15^\circ$
$e \geq 50$	0,1	–
$25 \leq e < 50$	0,2	–
$15 \leq e < 25$	0,3	–
$10 \leq e < 15$	0,4	0,5
$6 \leq e < 10$	0,5	0,6
$4 \leq e < 6$	0,6	0,7
$2 \leq e < 4$	0,7	0,8

Tabela 9 – Coeficientes de runoff conforme LEED existing buildings 2009. Extraído de TOMAZ (2005).

Tipo de superfícies	Coeficiente de runoff (C)
pavimento asfáltico	0,95
pavimento concreto	0,95
pavimento de tijolos	0,85
pavimento de pedras	0,75
telhado linha de base	0,95
telhado verde < 10 cm	0,50
telhado verde entre 10 cm e 20 cm	0,30
telhado verde entre 20 cm e 50 cm	0,20
telhado verde > 50 cm	0,10

de chuva, seja devida à limpeza do telhado, perda por evaporação, entre outras.

#### 4.2.1 Estrutura da cobertura verde

Conforme apresentado no Projeto Final I, existem 3 tipos de coberturas verdes: extensiva, semi-intensiva e intensiva. A escolha de qual tipo de cobertura é viável, segundo HENEINE (2008), está diretamente ligada à capacidade da edificação sustentar a carga da referida cobertura. É fato que nas novas construções em que os telhados verdes já fazem parte do projeto, às necessidades de reforço serão previstas de acordo com o tipo de cobertura que se pretende implementar. Entretanto, nas construções existentes, deve-se avaliar o quanto de carga extra a estrutura é capaz de aguentar, e então decidir qual cobertura será melhor afim de evitar quaisquer problemas futuros.

Além disso, outra importante característica a ser considerada para elaboração de um projeto construtivo de um telhado verde é a inclinação da laje. De acordo com MINKE (2005),

inclinações de até 3°, equivalente a 5%, correspondem a telhados planos. Já os telhados com inclinação de 3° a 20°, isto é, entre 5% e 35%, são denominados como telhados de leve inclinação, e, os telhados com inclinação de 20° a 40°, o que significa 36% a 84% de inclinação, são denominados como de forte inclinação. Telhados que possuem inclinação acima de 40° (84%) são qualificados como telhados empinados.

Considerando tudo o que foi citado acima, priorizou-se a escolha de menor risco, já que o prédio da reitoria já existe e não se sabe o quanto de carga excedente o mesmo pode suportar. Desse modo, o projeto será de cobertura verde extensiva além de adaptada para telhados planos que é o caso da reitoria.

#### 4.2.1.1 Camada impermeabilizante

É de suma importância a perfeita execução dessa etapa, pois, caso contrário, futuros problemas podem ocorrer na estrutura da edificação, como infiltrações. Dessa forma, a impermeabilização da estrutura varia de acordo com a necessidade e exigência de cada material (SAVI, 2012).

#### 4.2.1.2 Membrana antirraízes

Esta membrana tem como funcionalidade impedir a penetração das raízes na estrutura, podendo prejudicar a impermeabilização desta. Lonas de polietileno de alta densidade (PEAD) podem ser utilizadas para essa camada pois são capazes de impedir esse processo (SAVI, 2012).

#### 4.2.1.3 Camada drenante

Essa camada possui duas funções importantes: encaminhar a água para evitar que o solo fique completamente saturado e acumular água para as vegetações de modo a evitar a necessidade de rega constante, sobretudo para os períodos de estiagem (SAVI, 2012).

Para lograr o efeito de armazenamento com êxito, isto é, entre 15% e 25% do volume, essa camada é geralmente constituída de argila expandida, por ser um material preponderantemente de poros abertos (MINKE, 2005).

A existência da camada de drenagem é essencial em telhados verdes que são praticamente horizontais pois previne alagamentos indesejáveis e o estresse da cultura (TASSI et al., 2014).

Dada a propagação do uso de telhados verdes, empresas têm se especializado em sistemas modulares, os quais retêm água e possibilitam uma manutenção dos telhados ainda mais dispersada (SAVI, 2012).

#### 4.2.1.4 Camada Filtrante

Evita que a água das chuvas e das regas arraste as partículas de solo do telhado verde. Utiliza-se normalmente uma manta geotêxtil (DE ARAÚJO, 2007). Essa camada deixa a água passar, somente. As partículas de solo ficam retidas, preservando a funcionalidade do telhado verde.

Visto que se trata de um telhado plano, esta camada se faz necessária, segundo MINKE (2005), com o objetivo de impedir que o substrato se transforme em lodo e passe pela camada de drenagem.

#### 4.2.1.5 Substrato

De acordo com JOBIM (2013), o substrato tem como função assegurar suprimento de água e nutrientes com o objetivo de propiciar a fixação e o desenvolvimento adequado da vegetação.

Os substratos de telhado verde tendem a ser altamente baseados em minerais, com pequenas quantidades de matéria orgânica (aproximadamente 10% em peso). O componente mineral pode ser originário de inúmeras fontes, e de peso variável, dependendo da carga que o telhado é capaz de suportar. Grânulos de argila expandida e tijolos esmagados são dois materiais comuns. Existe um interesse crescente na utilização de materiais de resíduos granulares leves derivados localmente como fontes sustentáveis para substratos de telhado verde (OBERNDORFER et al., 2007).

Conforme afirma DE ARAÚJO (2007) a camada de substrato não deve ser argilosa, pois esta possui capacidade alta de absorção, o que pode prejudicar a drenagem do sistema. Indo ao encontro da afirmação acima, MINKE (2005) sustenta que, para coberturas extensivas, deve-se adicionar areia ao substrato e este deve conter menos de 20% de argila e silte de granulometria

de até 0,06 mm. Além disso, recomenda-se empobrecer a terra com minerais leves de granulometria entre 0 e 16 mm como pedra-pomes, ardósia expandida, argila expandida, e material reciclado como tijolos porosos, por exemplo.

Como a escolha da cobertura é pelo tipo extensivo, os substratos não devem ser muito ricos em nutrientes, pois, caso contrário, o mesmo pode viabilizar um crescimento acelerado da vegetação (SAVI, 2012).

Sendo assim, para controlar o desenvolvimento da vegetação no caso de coberturas verdes extensivas, utiliza-se um substrato que é essencialmente mineral como cascalho, tijolos triturados, pedra porosa, argila expandida, areia artificial ou de rio, ardósia expandida, camadas de palha ou de coco biologicamente degradáveis, entre outros. Outra alternativa é a utilização de adubos, matérias orgânicas e terra (SADDI e MOURA, 2010).

Conforme já definido, o telhado verde será do tipo extensivo, e assim, a camada de substrato possuirá espessura de 15 centímetros.

#### 4.2.1.6 Vegetação

As condições do telhado são um desafio para a sobrevivência e o crescimento das plantas. Condições climáticas, como intensas chuvas e/ou longos períodos de seca, além de temperaturas extremas, podem restringir o uso de certas espécies ou ditar o uso da irrigação. Geralmente, as plantas nativas, são consideradas como escolha ideal para o plantio, em função de suas adaptações aos climas locais. As plantas adequadas para telhados verdes extensivos partilham adaptações que lhes permitem sobreviver em condições difíceis (OBERNDORFER et al., 2007).

Segundo MINKE (2005), alguns critérios devem ser considerados para a escolha da vegetação como a espessura do substrato e sua eficiência no armazenamento de água, inclinação do telhado, exposição ao vento, orientação para o sol, sombra e quantidade de precipitação.

Laar et al. (2001) *apud* BEATRICE (2011), realizaram um estudo na região do litoral do Sudeste do Brasil, durante 5 meses, nas estações de primavera e verão, e sugerem com ressalvas e poucos critérios de definição algumas plantas que podem ser cultivadas nesse local, como: *Asparagus Sprengeri*, *Bulbine Caulescens*, *Liriope Muscari*, *Pilea Microphylla*, *Portu-*

*laca Grandiflora, Rhoeco Discolor e Setcreasea Purpurea.*

Ao se escolher o tipo de vegetação que será utilizada no telhado verde, é importante considerar um que demanda uma menor manutenção nos quesitos de rega e poda, além de suportar um clima amplamente variável, já que o telhado verde será do tipo extensivo. MILLER (2014) aponta que escolheu essa espécie em função da mesma possuir características necessárias para plantas constituintes de telhado verde, como o fato de ser uma das raras plantas suculentas com ciclo de vida anual, e também porque serve como forração e suporta sol pleno, além de um solo pouco fértil.

Portanto, a planta que será utilizada apresenta as características descritas acima, denominada cientificamente como *Portulaca grandiflora*, popularmente conhecida como onze-horas, pertencente à família *Portulacaceae* e classificada como herbácea prostrada, suculenta, anual, nativa do Brasil, atingindo de 15 a 20 cm de altura (Laar et al. (2001) *apud* BEATRICE (2011)).

#### 4.2.2 Dimensionamento do reservatório

Tendo em vista o que foi esclarecido na revisão bibliográfica desse trabalho, a água acumulada no reservatório será utilizada para fim não potável, que no caso será para a descarga da bacia sanitária. Na Fig. 12, o reservatório de água de chuva está elevado, e, se esse for o caso no projeto, deverá existir uma estrutura de sustentação para tal. Caso a melhor opção seja enterrar no solo ou até mesmo sobre o solo, deve-se considerar o bombeamento.

Nos projetos de instalações prediais de drenagem de águas pluviais, BACK e BONETTI (2014) afirmam que o dimensionamento das estruturas de captação, como as calhas, e de condução de água da chuva, verticalmente e horizontalmente, devem ser baseados nos dados da precipitação máxima do local.

Segundo DORNELLES (2012), grandes reservatórios extravasam menor volume de água, se comparados a pequenos reservatórios. Com maior capacidade de armazenamento, proporcionam um maior volume de água de chuva aproveitável e, conseqüentemente, menos gastos no consumo de água tarifada. Em contrapartida, o custo de construção do reservatório também cresce em proporção direta à sua capacidade, exigindo assim uma busca pelo ponto ótimo, onde não haja muito extravasamento de água aproveitável, mas também não tenha uma capacidade

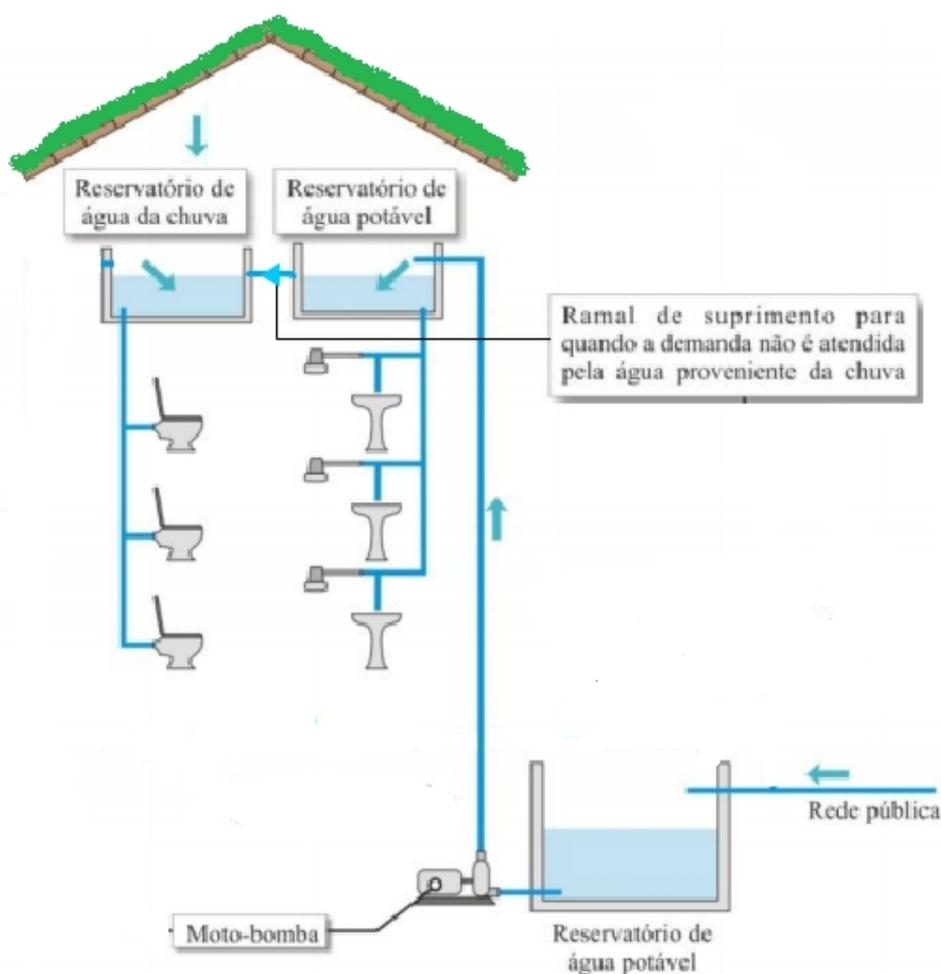


Figura 12 – Sistema de aproveitamento de água pluvial. Modificado de DORNELLES (2012).

muito além do que é necessário.

Para que o dimensionamento seja o melhor possível e que proporcione o máximo de aproveitamento dentro das limitações existentes, foram escolhidos quatro métodos que estão dispostos na NBR 15527/2007, sendo eles: Método Prático (Azevedo Netto), Método Prático Inglês, Método de Simulação (Rippl) e o Método Prático Alemão. Os dois primeiros métodos não consideram a demanda no cálculo, enquanto os dois últimos consideram.

Além disso, o reservatório também será dimensionado pela fórmula apresentada na Lei nº 2630, de 07 de janeiro de 2009 do município de Niterói, a qual estabelece os procedimentos relativos ao reservatório de armazenamento de águas pluviais para aproveitamento de água pluvial e retardo de descarga da mesma na rede pública.

## 4.2.2.1 Azevedo Netto

Neste método, o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (4.1)$$

onde

- $P$  é a precipitação média anual em milímetros (mm)
- $T$  é o número de meses de pouca chuva ou seca (i.e.  $< 100$  mm).
- $A$  é a área de coleta em projeção em  $m^2$
- $V$  é o volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, em litros.

DORNELLES (2012) adotou como mês seco no ano, aquele que possui precipitação mensal inferior a 100 mm. Para os postos com precipitação média mensal sempre superior a este valor, recomenda adotar o mínimo de 1 mês. O autor afirma que o critério adotado reproduziu satisfatoriamente o número de meses do período de estiagem nos postos selecionados. Da mesma forma ocorreu neste trabalho. Aplicado aos dados de precipitação média mensal, apresentado na Fig. 10, o número de meses com pouca chuva para a bairro de Icaraí é  $T = 7$ .

Para RUPP et al. (2011), os dimensionamentos que foram realizados pelo método de Azevedo Netto resultaram em capacidade constante de armazenamento do reservatório, para cada cidade, independentemente da demanda de água pluvial. Desse modo, pode-se concluir que, quanto mais alto o valor da precipitação da cidade, maior será o volume do reservatório, pois esse método varia apenas em função da precipitação.

A Tabela 10 foi retirada de planilha Excel onde foram realizados os cálculos para esse dimensionamento. A mesma evidencia o resultado de volume obtido, igual a aproximadamente  $68,4 m^3$ .

Tabela 10 – Tabela com o dimensionamento do reservatório no método Azevedo Netto.

<b>Coeficiente</b>	<b>Precipitação anual (mm)</b>	<b>Área de captação (<math>m^2</math>)</b>	<b>Nº de meses com pouca ou nenhuma precipitação</b>	<b>Volume (<math>m^3</math>)</b>
0,042	1016,1	229	7	68,4

#### 4.2.2.2 Método prático Inglês

Segundo a NBR 15527, o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (4.2)$$

onde:

- $P$  é a precipitação média anual em milímetros (mm);
- $A$  é a área de coleta em projeção em metros quadrados ( $m^2$ );
- $V$  é o volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, em litros (L).

A Tabela 11 foi retirada de planilha Excel onde foram realizados os cálculos para esse dimensionamento. A mesma evidencia o resultado de volume obtido, igual a aproximadamente 11,63  $m^3$ .

Tabela 11 – Tabela com o dimensionamento do reservatório no método Inglês.

<b>Coefficiente</b>	<b>Precipitação anual (mm)</b>	<b>Área de captação (<math>m^2</math>)</b>	<b>Volume (<math>m^3</math>)</b>
0,05	1016,1	229	11,63

#### 4.2.2.3 RIPPL

Segundo TOMAZ (2005), no método de Rippl são utilizadas séries históricas de precipitações, sendo preferíveis as mais longas, convertidas em vazões que abastecem o reservatório. Para simplificação do cálculo, séries sintéticas, baseadas em chuvas diárias ou mensais, são desenvolvidas a partir de uma série histórica de precipitação.

O método consiste na determinação do volume com base na área de captação e na precipitação registrada, considerando-se que nem toda a água precipitada seja armazenada, além de correlacionar tal volume ao consumo mensal (Amorim e Pereira).

DORNELLES et al. (2010) concluiu, em sua experiência, que o método de Rippl foi válido apenas para os postos com período significativo de estiagem, isto é, com ampla variação de volumes precipitados nos períodos secos e úmidos, impossibilitando a sua utilização para postos situados no sul do país.

Para o dimensionamento devem ser determinados a demanda média de água pluvial, a área da superfície de captação e o coeficiente de *runoff* (quociente entre a água que escoar superficialmente e o total da água precipitada), de acordo com as necessidades estabelecidas em projeto. Em seguida, aplica-se o método de Rippl utilizando-se as precipitações médias mensais em um período de janeiro a dezembro para o cálculo em base mensal. Pode ser utilizada tanto uma demanda constante de água pluvial quanto uma demanda variável (DORNELLES et al., 2010). No caso deste trabalho, foi utilizada demanda constante.

Essa demanda foi calculada baseada em alguns parâmetros, como por exemplo o número de vezes em que um indivíduo, geralmente, utiliza a descarga do vaso sanitário, dado um período de 8 horas de trabalho diárias, bem como o número de funcionários que trabalham no prédio principal da reitoria.

Essa última informação foi obtida com a PROGEPE (Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas) da UFF. Segundo essa fonte, o número de funcionários destacados à Reitoria como um todo é de 417. Desses, 23 funcionários tem seus postos de trabalho na PROAES, que é um prédio anexo, outros 6 estão no bandeirão, 13 na sinfônica e 11 no CineUFF. Além disso, parte dos funcionários do prédio principal não cuprem ponto lá, mas essa informação eles não possuem meios de informar pois são funcionários cedidos. Desse modo, considerando todos os que trabalham no prédio principal, isso significaria um número de funcionários de 364. Supondo que 20% do total são funcionários cedidos, ficamos com, aproximadamente, 292 funcionários no prédio principal da reitoria.

Conforme explicitado na revisão bibliográfica, o consumo diário de um funcionário em um edifício público ou comercial, apenas em descargas de vasos sanitários é, em média, igual a 23,85 L. Portanto, multiplicando o número de funcionários pelo consumo diário por funcionário e pelo número de dias úteis em um mês que é, geralmente, 22 dias, tem-se como resultado a demanda média mensal ( $D$ ):

$$D = \frac{(292 \text{ funcionários} \times 23,85 \text{ L/dia/funcionário} \times 22 \text{ dias})}{1000} = 153,2 \text{ m}^3$$

Para DORNELLES et al. (2010), em geral, o método de Rippl superdimensionou os volumes dos reservatórios, pois, seu resultado aumenta com a demanda de água pluvial. Ou seja,

aumentando-se a demanda, a capacidade necessária no reservatório também será maior, sem necessariamente implicar um maior potencial de economia de água potável.

Tabela 12 – Tabela com o dimensionamento do reservatório no método RIPPL. <sup>a</sup>Precipitação média mensal; <sup>b</sup>Volume aproveitável; <sup>c</sup>Demanda - Volume aproveitável; <sup>d</sup>Diferença acumulada.

Meses	Precip. <sup>a</sup> (mm)	Demanda mensal (m <sup>3</sup> )	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume <sup>b</sup> (m <sup>3</sup> )	Vol. Aprov. <sup>c</sup> (m <sup>3</sup> )	Diferença <sup>d</sup>
Janeiro	143,0	153,2	229	9,8	143,4	143,4
Fevereiro	105,9	153,2	229	7,3	146,0	289,3
Março	126,9	153,2	229	8,7	144,5	433,8
Abril	87,5	153,2	229	6,0	147,2	581,0
Mai	66,4	153,2	229	4,6	148,6	729,6
Junho	43,4	153,2	229	3,0	150,2	879,8
Julho	43,4	153,2	229	3,0	151,0	1031,0
Agosto	32,7	153,2	229	2,3	149,5	1181,0
Setembro	55,5	153,2	229	3,7	147,7	1328,7
Outubro	80,8	153,2	229	5,6	146,1	1476,6
Novembro	103,4	153,2	229	7,1	144,3	1622,4
Dezembro	129,4	153,2	229	8,9		1766,7
<b>Total</b>	<b>1016,1</b>	<b>1838,4</b>		<b>69,8</b>		

A Tabela 12 apresenta o dimensionamento de acordo com o método RIPPL. Nesse caso, a demanda total anual é de 1838,40 m<sup>3</sup>, enquanto o volume aproveitável anual é de 69,81 m<sup>3</sup>. Tem-se então que o valor da demanda total anual é muito superior ao valor do volume de chuva aproveitável. Sendo assim, o método de Rippl não se aplica neste cenário.

Para satisfazer a condição necessária do método de Rippl, foi estabelecido que a demanda total anual deveria ser limitada pelo valor do volume total anual de chuva aproveitável. Portanto, a demanda mensal ficou com o valor de aproximadamente 5,82 m<sup>3</sup>. Esse volume consegue suprir quase 4% da demanda mensal real (Tabela 13).

Tabela 13 – Tabela com o dimensionamento do reservatório no método RIPPL. <sup>a</sup>Precipitação média mensal; <sup>b</sup>Volume aproveitável; <sup>c</sup>Demanda - Volume aproveitável; <sup>d</sup>Diferença acumulada.

Meses	Precip. <sup>a</sup> (mm)	Demanda mensal (m <sup>3</sup> )	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume <sup>b</sup> (m <sup>3</sup> )	Vol. Aprov. <sup>c</sup> (m <sup>3</sup> )	Diferença <sup>d</sup>
Janeiro	143,0	5,8	229	9,8	-4,0	0,00
Fevereiro	105,9	5,8	229	7,3	-1,5	0,00
Março	126,9	5,8	229	8,7	-2,9	0,00
Abril	87,5	5,8	229	6,0	-0,2	0,00
Mai	66,4	5,8	229	4,6	1,3	1,3
Junho	43,4	5,8	229	3,0	2,8	4,1
Julho	43,4	5,8	229	3,0	2,8	6,9
Agosto	32,7	5,8	229	2,3	3,6	10,5
Setembro	55,5	5,8	229	3,7	2,1	12,6
Outubro	80,8	5,8	229	5,6	0,3	12,9
Novembro	103,4	5,8	229	7,1	-1,3	11,6
Dezembro	129,4	5,8	229	8,9	-3,1	8,6
<b>Total</b>	<b>1016,1</b>	<b>69,8</b>		<b>69,8</b>		

#### 4.2.2.4 Método prático Alemão

Neste método, o volume do reservatório de água pluvial será, simplesmente, o menor valor entre 6% do volume de água pluvial anual e 6% da demanda anual de água não potável (RUPP et al., 2011).

Trata-se de um método empírico onde o volume adotado para o reservatório ( $V_{\text{adotado}}$ ) é o menor valor de acordo com:

6% do volume anual de consumo

$$V_{\text{adotado}} = (V_{ac}) \times 0,06 \quad (4.3)$$

sendo  $V_{ac}$  o volume anual de consumo.

ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável

$$V_{\text{adotado}} = (V_{apa}) \times 0,06 \quad (4.4)$$

sendo  $V_{apa}$  o volume anual de precipitação aproveitável.

Na NBR 15527 não consta como se obtém o volume de água pluvial anual pelo método prático alemão, portanto, ele foi determinado por meio da seguinte equação (RUPP et al., 2011)

$$V = C \times P \times A \quad (4.5)$$

Considerando  $C = 0,3$ ,  $P = 1,016 \text{ m}$  e  $A = 229 \text{ m}^2$ , o volume calculado a partir da eq.(4.5) é  $69,80 \text{ m}^3$ .

A demanda anual de água não potável que foi adotada foi a mesma para o método de Rippl ( $153,2 \text{ m}^3/\text{mês}$  e equivalente a  $1838,4 \text{ m}^3$  por ano), no caso somente para suprir as descargas dos vasos sanitários.

Portanto, o volume anual precipitado aproveitável é menor do que a demanda, isto é, o volume anual de consumo. Dessa forma o volume adotado é definido pelo volume anual de precipitação aproveitável (eq. 4.4). Sendo assim:

$$V_{\text{adotado}} = 69,80 \text{ m}^3 \times 0,06 = 4,19 \text{ m}^3$$

No caso desse método será o de  $4,19 \text{ m}^3$ .

#### 4.2.2.5 LEI

Segundo a Lei Municipal nº2630 de 07 de Janeiro de 2009, a capacidade do reservatório de acumulação deverá ser calculada com base na seguinte equação:

$$V = K \times A_i \times h \quad (4.6)$$

- $V$  = Volume do reservatório em metros cúbicos;
- $K$  = Coeficiente de Abatimento, correspondente a 0,15;
- $A_i$  = Área do telhado, em metros quadrados;
- $h$  = Altura pluviométrica, correspondente a 0,06 metros

Como a área do telhado é de  $229 \text{ m}^2$ , o resultado encontrado é de  $2,06 \text{ m}^3$  (ver Tabela 14).

Esse resultado não vai ser considerado pois a área do telhado não é maior do que  $500 \text{ m}^2$ , e assim, esse edifício não está abrangido pela norma vigente.

Tabela 14 – Tabela com o dimensionamento do reservatório de acordo com a Lei Municipal nº 2630/2007.

$K$	$A_i$ (m <sup>2</sup> )	$h$ (m)	$V$ (m <sup>3</sup> )
0,15	229	0,06	2,06

### 4.3 Vazão do projeto a partir da curva IDF

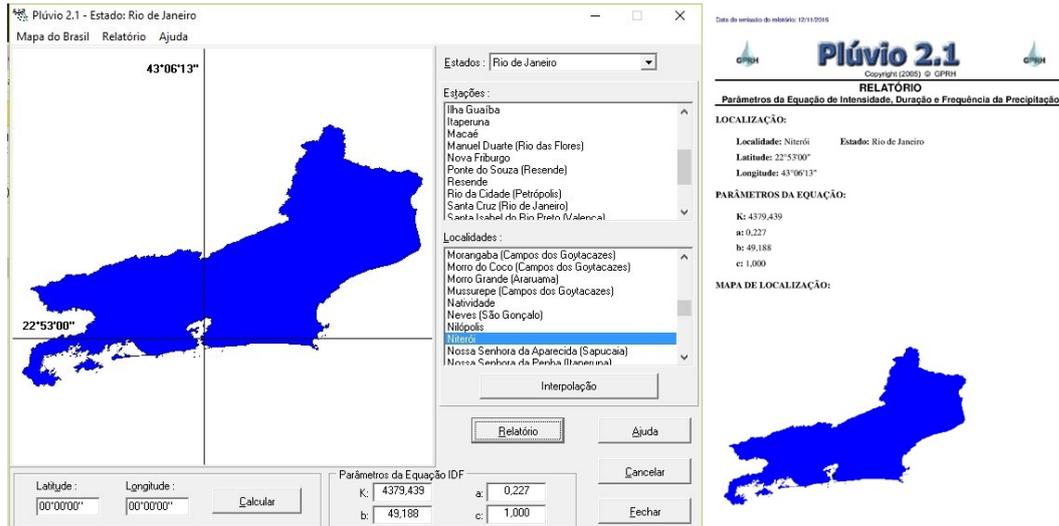


Figura 13 – Telas do software Plúvio 2.1.

Conforme descrito no Capítulo 2 de Revisão de Literatura, o tempo de retorno que será utilizado na equação IDF será de 5 anos, e  $t = 5$  minutos. A partir dos parâmetros definidos pelo Plúvio 2.1 (Fig. 13), tem-se que a intensidade da chuva ( $i$ ), a partir da fórmula apresentada na revisão bibliográfica, é de 116,46 mm/h.

A vazão de projeto é calculada através da fórmula:

$$Q(t) = C \times I(t) \times A \quad (4.7)$$

Em que

- $Q(t)$  é o volume de chuva aproveitável no instante  $t$
- $C$  o coeficiente de escoamento superficial ou *runoff*,
- $I(t)$  a intensidade de precipitação em mm, e
- $A$  a área de captação, que no caso é a área do telhado verde

Tabela 15 – Tabela criada a partir de cálculos realizados em Planilha Excel e que evidencia os valores obtidos para vazão de água de chuva de um telhado convencional e do Telhado Verde pensado nesse estudo.

<b>Tipo de telhado</b>	<b>C</b>	<b>I (mm/h)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (L/s)</b>
Convencional	0,95	0,116	229	7,04
Verde	0,30	0,116	229	2,22

Com esses valores, através de planilha Excel, foram realizados os cálculos de vazão para o telhado verde e o telhado convencional. A comparação das vazões obtidas está apresentada na Tabela 15.

## 5 Resultados

Conforme descrito no capítulo 3, o bairro de Icaraí, que está inserido no Município de Niterói, foi escolhido pois é o de maior densidade demográfica e também é um bairro polarizador e de grande importância dentro do Município. Além disso, foi possível conseguir dados dessa área de forma acessível. Também nesse mesmo capítulo está evidenciado o motivo da escolha de um telhado verde associado a um reservatório para armazenamento de água pluvial. Além dos inúmeros benefícios dessa estrutura, a possibilidade de utilização da laje do prédio da reitoria da Universidade, situado no bairro escolhido, foi um fator de grande peso.

Diante da demonstração dos valores calculados pelos diferentes métodos de dimensionamento, foi elaborada uma tabela (Tabela 16) cuja função é sintetizar todos os resultados.

Tabela 16 – *Síntese dos valores de volume calculados por diferentes métodos de dimensionamento.*

<b>Método</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
Azevedo Netto	68,4
prático Inglês	11,6
Rippl	12,9
prático alemão	4,2

Em concordância com o que foi elucidado anteriormente, a grande demanda requer, de acordo com o método de Rippl, um reservatório de grandes proporções e inviável. Na realidade, como a demanda é muito superior ao volume de água aproveitável, o método não pôde ser utilizado para a demanda real. Para recuperar a aplicabilidade do método foi estabelecido um limite no volume aproveitável anual. Assim foi obtido um volume viável para o reservatório. Considerando o primeiro caso, o tamanho obtido é muito superior aos demais e muito grande, de fato, o que torna o mesmo inviável de ser construído, além de muito custoso. Em função de seu tamanho, provavelmente esse reservatório ficará muito tempo ocioso, principalmente nos períodos de menor volume de chuva.

Por outro lado, o volume do reservatório dimensionado de acordo com a equação apresentada na lei 2630 foi muito pequeno. Isso pode ser supostamente explicado em função da lei se

aplicar para áreas impermeabilizadas que são maiores que 500 m<sup>2</sup>. Portanto, esse dimensionamento não será considerado.

Embora o Método Prático Alemão também utilize a demanda em seu cálculo, na realidade, é feita uma escolha dentre duas opções. E, nesse caso, como a demanda é muito grande, a opção eleita é a de menor valor, o que significa que é a que não considera a demanda, mas sim, o volume de chuva aproveitável proveniente do telhado verde. Conforme aponta RUPP et al. (2011), vale ressaltar que esse método não considera em seus cálculos a área de captação do telhado.

O volume calculado pelo Método de Azevedo Netto é bem grande, principalmente quando comparado aos valores obtidos pelos demais métodos.

Por fim, o volume de reservatório calculado pelo método Prático Inglês apresentou um valor intermediário, além de viável.

Provavelmente, para todas as capacidades de armazenamento calculadas, dentro do período de um ano, existirão momentos em que o reservatório ficará com um volume abaixo de sua capacidade, ao passo que existirão momentos em que o mesmo não terá capacidade para todo o volume que virá do telhado verde, e portanto, deve ser avaliada a implementação de um extravasor.

Além dos resultados da capacidade de armazenamento do reservatório através dos diferentes métodos utilizados, também se pode avaliar a redução da vazão que segue do telhado do edifício da reitoria para a rede de drenagem urbana pública.

A partir da tabela apresentada no capítulo anterior das vazões dos telhados convencional e verde, foi construído o gráfico (Fig. 14) com o objetivo de visualizar o volume de água escoado a partir do telhado verde em comparação ao escoamento proveniente do telhado convencional e que aporta a rede pública de drenagem urbana.

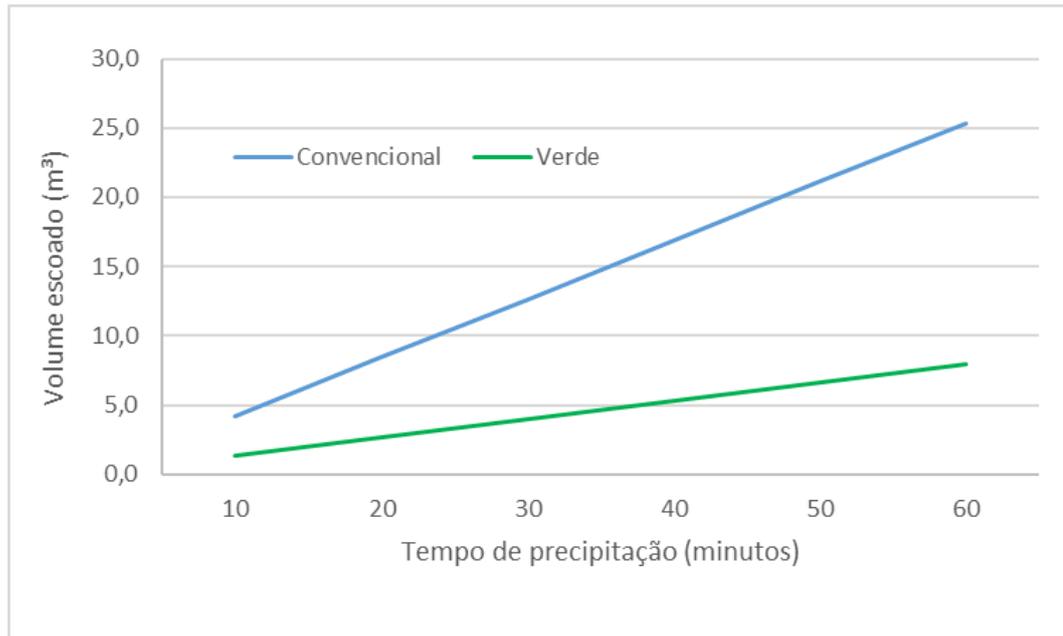


Figura 14 – Vazões dos telhados convencional e verde obtidos a partir da tabela apresentada no capítulo anterior.

Através dele, pode-se observar que, para um tempo de precipitação de 1 hora, o volume que seria escoado do telhado convencional seria de pouco mais de 25 m<sup>3</sup>, ao passo que, no cenário com o telhado verde, esse volume cairia para aproximadamente 8 m<sup>3</sup>, isto é, menos de 1/3, o que significa uma redução de aproximadamente 68%.

Como o projeto associa um reservatório de aproveitamento de água pluvial advinda do telhado verde, o aporte dessa área para a rede de drenagem urbana pública é reduzido a zero.

## 6 Conclusão

As adversidades causadas às populações urbanas pelas precipitações intensas como as ocorrências de enchentes e inundações, são decorrentes do processo de urbanização aliado à impermeabilização do solo. Esse processo constante impulsiona, cada vez mais, a deficiência da infraestrutura da rede de drenagem urbana.

Tendo em vista essa problemática, estruturas sustentáveis denominadas também como técnicas compensatórias surgiram dentro de conceitos baseados na sustentabilidade do manejo das águas pluviais nas áreas urbanas e que tem o intuito de promover, gradualmente, a recuperação do ciclo hidrológico, em pequenas escalas.

Essas estruturas reduzem o volume de escoamento superficial através do favorecimento da infiltração, ou, apenas retardam o fluxo deste visando a redução do pico de cheia. Uma das formas de atingir esse reestabelecimento é através da utilização da água de chuva, impedindo que a mesma alcance as redes de drenagem e sobrecarregue a mesma. De acordo com o que foi revisado, a água de chuva é considerada de boa qualidade e tem potencial para ser aproveitada para usos não potáveis.

Embora a utilização da água por consumo humano seja bem inferior ao consumido pela irrigação, ainda assim se faz importante e possível reduzir esse consumo significativamente, suscitando na sociedade maior consciência socio-ambiental. Um meio possível para essa diminuição se concretizar, é a adoção de hidrômetro individualizado. Acerca dessa questão, um obstáculo real existente para que isso se concretize são as grandes empresas construtoras, as quais avaliam que o custo ao implementar hidrômetros individualizados é superior ao de implementação de um hidrômetro, apenas, Para elas, também existe a questão da existência de um padrão de construção, que é o de um hidrômetro para todos. Sendo assim, muitas vezes a mudança só acontece quando há força de lei, e, conseqüentemente, a incorporação do mercado quanto à isso. Mas isso tem sua importância pois, a adoção de sistemas de medição individualizada de água nos edifícios residenciais influencia na racionalização do uso da água.

Além disso, existe um outro obstáculo a ser superado. No Brasil em áreas urbanas de modo

geral, os primeiros 10 m<sup>3</sup> de água fornecida pelo serviço público é subsidiado, reduzindo o custo da água utilizada para o consumidor, que conseqüentemente acaba por não optar pela alternativa do uso da água de chuva. Em localidades onde não existe rede pública de abastecimento ou de escassez, a utilização da água de chuva é de grande importância.

Outro fator que pode auxiliar na redução do consumo de água potável, exatamente nas descargas dos vasos sanitários é a instalação do sistema de descarga de duplo acionamento. Este sistema possui dois botões, sendo que o menor despeja apenas 3 litros de água pois é utilizado para escoamento de dejetos líquidos, ao passo que o maior é utilizado para escoar os dejetos sólidos, cujo despejo é de 6,8 litros de água. O mesmo pode ser colocado tanto em paredes como em caixas acopladas.

Assim, o aproveitamento da água de chuva torna-se uma opção alternativa ao uso de água potável vantajosa, devido ao alto custo da água potável, a sobrecarga ambiental nos mananciais decorrida da captação desse recurso natural e a possibilidade de seu uso quando da ocorrência de escassez de água dependendo da época e da localidade.

Neste estudo, o Telhado Verde se mostrou uma técnica eficiente, em termo absoluto, quanto à diminuição do volume potencial que iria alcançar a rede de drenagem caso a laje fosse apenas concreto ou asfalto. Adicionalmente, a associação de um reservatório potencializa a significância dessa estrutura pois permite a utilização da água de chuva captada para fins não potáveis.

No caso deste trabalho, a utilização prevista para essa água de chuva captada foi para descarga de vasos sanitários, cujo consumo é o de maior peso num edifício de ocupantes temporários, e, ademais, desperdiça muita água potável desnecessariamente. No entanto, apesar desse uso fim ser justificado, para atender as descargas é necessária uma demanda muito significativa, e, muito provavelmente, o reservatório existente terá a capacidade de suprir uma parte bem pequena para esse fim.

Considerando os resultados de volumes obtidos na etapa do dimensionamento do reservatório, avalia-se que a opção mais viável e que se adequará melhor ao projeto é a apresentada pelo Método de Rippl, com a demanda limitada pelo volume aproveitável total anual, isto é, o 2º caso. Verifica-se que o valor obtido nesse caso para esse método é um valor intermediário em comparação aos outros métodos utilizados, além de muito próximo ao obtido pelo Método Prático

Inglês. Assim sendo, ao invés de comprar um reservatório de 10.000 L que tampouco irá atender o valor obtido pelo Método Prático Inglês, é possível pensar na compra de um reservatório de 12.000 L, se houver sustentação para isso e considerando uma avaliação de custo/benefício.

Não somente para o manejo de águas pluviais urbanas, o telhado verde também impacta diretamente a população no seu entorno, pois sua cobertura verde tem potencial de proporcionar sensação de melhor qualidade de vida e conforto, dado o aspecto estético e paisagístico. Assim, essa estrutura pode causar no psicológico humano não somente a sensação de bem-estar como também o sentimento real de qualidade de vida e sensação de conforto. Várias pesquisas em ambiência mostram os resultados positivos ao se utilizarem coberturas verdes, refletindo no estado psicoemocional dos seus usuários.

Esse trabalho não avaliou os custos de implantação, nem o *payback* desse projeto e a viabilidade técnica e econômica. Também não foram analisadas propostas de implementação de medidas não estruturais como as citadas no Projeto Final I, no Município de Niterói, por exemplo. Portanto, sugere-se que esses estudos sejam realizados a fim de complementar essa obra.

Ademais, pôde-se concluir que esse estudo abrange muitas outras áreas como, por exemplo, a social e, por isso, caso o projeto se torne realidade, seria interessante a realização de uma pesquisa acerca dos benefícios que o telhado verde proporciona para a população do entorno de onde estará situado.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conservação e reuso de água em edificações. impresso, Junho 2005. São Paulo.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: Panorama nacional. volume 1. Relatório técnico, Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, Brasília, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: água de chuva: aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis. Norma, 2007. São Paulo.
- BACK, A. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(4):260–267, Out-Dez 2014.
- BEATRICE, C. C. *Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.
- BRASIL. Lei n. 2630, de 07 de janeiro de 2009. Lei n. 2630, Prefeitura do Município de Niterói, de 07 de Janeiro de 2009 2009.
- BRASIL. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2014. Relatório técnico, Ministério das Cidades Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, Fevereiro 2014.
- BRUNO, L. O.; AMORIM, R. S. S.; SILVEIRA, A. Estudo da redução do escoamento superficial direto em superfícies permeáveis. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(2): 237–247, 2013.
- CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5(3):21–29, Julho/Setembro 2000.

- CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(3):501–504, 2003.
- COELHO, F. G.; PAGE, R. M.; DA HORA, M. A. G. Uso de reservatórios de águas pluviais residenciais como auxílio na drenagem urbana. *Revista Hydro*, (121):36–39, Novembro 2016.
- DA SILVA, G. P. P. G.; RUAS, D. B.; ROSSI, A. M. G. A expansão urbana e a gentrificação no bairro de Icaraí, Niterói. In: *XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 29 a 31 de Outubro 2010.
- DE ARAÚJO, F. F. A história urbana niteroiense - entendendo o bairro de Icaraí. In: *Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos*, 25 a 31 de Julho 2010.
- DE ARAÚJO, S. R. *As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- DE LUNA, Y. H. D. M.; SANTANA, N. C. B.; JÚNIOR, R. H. A.; JÚNIOR, G. B. A. Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 2(1):53–68, 2014.
- DE OLIVEIRA, E. W. N. *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2009.
- DE OLIVEIRA, N. N. Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis de próprios da educação da rede municipal de Guarulhos. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Guarulhos, 2008.
- DORNELLES, F. *Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2012.

- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 15(2), Abr-Jun 2010.
- FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. In: *IV Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre edificações e comunidades sustentáveis*, 2007.
- FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; RODRIGUES, G. O.; DE MIRANDA, J. H.; COOKE, R. A. Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 32(6):1080–1088, nov/dez 2012.
- HENEINE, M. C. A. S. *Cobertura verde*. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia, Universidade Federal Minas Gerais, Jan 2008.
- JOBIM, A. *Diferentes tipos de tralhados verdes no controle qualitativo da água pluvial*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, 2013.
- KRAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. *Ambiente Construído*, 6(1):75–90, Jan-Mar 2006.
- LAGOEIRO, G. S. P.; COSTA, F. H. L.; LEÃO, O. M. R. Análise morfométrica como subsídio geomorfológicos para a compreensão das enchentes urbanas na bacia do rio Icaraí Niterói, RJ. *Revista Geonorte*, 10(1):41–46, 2014.
- LUCIA, T. S. A. Relatório de estudos de impactos de vizinhança. Relatório técnico, Prefeitura do Município de Niterói, 2014.
- MILLER, A. P. R. R. *Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para cobertura verdes extensivas em Curitiba*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Engenharia de Construção civil, 2014.

- Ministério do Meio Ambiente. Plano nacional de recursos hídricos. panorama e estado dos recursos hídricos do brasil: Volume 1. Relatório técnico, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.
- MINKE, G. *Techos verdes: planificación, ejecución, consejos prácticos*. Editora Fin de Siglo, 2005.
- NAGHETTINI, M. *Hidrologia estatística*. CPRM Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, 2007.
- NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, 10(1):36–48, Jan-Mar 2005.
- OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10):823–833, November 2007.
- OHNUMA JR, A. A. *Cenários de reuso de água pluvial e controle da drenagem visando a recuperação ambiental da micro-bacia do alto Tijuco Preto, São Carlos-SP*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.
- OHNUMA JR, A. A. *Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição em lotes urbanos*. Tese (Doutorado) – Ciências da Engenharia Ambiental. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2008.
- OHNUMA JR, A. A.; NETO, P. A.; MENDIONDO, E. M. Análise da retenção hídrica em telhados verdes a partir da eficiência do coeficiente de escoamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(2):41–52, Abril/Junho 2014.
- PERES, L. H. A. As consequências sócio-espaciais geradas pela implantação do túnel Ângela fernandes na cidade de Niterói. In: *VII Congresso Brasileiro de Geógrafos*, 10 a 16 de Agosto 2014.

Plano Municipal de Saneamento Básico. Diagnóstico, descrição e análise crítica do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Relatório técnico, Prefeitura Municipal de Niterói, Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos, 2015.

Plano Nacional Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil. vol. 1. Relatório técnico, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, 2006.

Prefeitura Municipal de Niterói. *Plano Municipal de Saneamento Básico: Diagnóstico, Descrição e Análise crítica de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas*. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos, 2014.

PRUSKI, F. F. Modelo físico-matemático para o controle de erosão hídrica nas condições edafoclimáticas brasileiras. Relatório científico, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; VERÓI, A. P. Manejo de águas urbanas e sua relação com o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis integradas - estudo de caso dos rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias/RJ. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(2):149–163, 2013.

ROBERTSON, S. Stanford university's green dorm water system management project. Report, Stanford University, 2005.

ROSSI, A. P. Projeto de instalações de águas pluviais: Utilização de telhados verdes. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, 11(4):47–64, Out-Dez 2011.

SADDI, K. G.; MOURA, R. O. Cobertura verdes: análise do impacto de sua implantação sobre redução do escoamento superficial. Relatório técnico, Universidade Federal de Goiânia, 2010.

- SAVI, A. C. *Telhados verdes: Análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura*. Dissertação (Mestrado) – Departamento acadêmico de construção civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.
- Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, 2014. Relatório técnico, Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasil, Brasília, 2016.
- SHISHEGAR, N. Green roofs: enhancing energy and environmental performance of buildings. In: *International Conference on Clean Energy, Quebec, Canada, 2012*.
- SILVA, L. M.; SOARES, D. A. F.; SOARES, P. F. Análise preliminar da qualidade de águas pluviais para usos não potáveis. In: *III Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana*, page 9, 7 e 8 de Novembro 2012.
- SOBRINHO, R. A.; NEVES, R. F. Ações integradas de manejo de águas pluviais no estado da bahia: O estudo de caso do município de lauro de freitas/ba. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 3(2):100–108, 2015.
- TASSI, R.; TASSINARI, L. C.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, 14(1):139–154, jan/mar 2014.
- TOMAZ, P. *Aproveitamento de água de chuva*, volume 2. Navegar Editora, 2005.
- TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(1):5–27, Jan/Mar 2002.
- TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas na América do Sul*, chapter Inundações e drenagem urbana, pages 45–150. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- TUCCI, C. E. M. *Gestão de água pluviais urbanas*. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.
- UMMUS, M. E.; MATOS, P. P. O.; JESUS, S. C. O avanço da urbanização no município de Niterói entre 1897 e 2007. In: *II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 8 a 11 de Setembro 2008.