

INSTITUTO FEDERAL  
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Fluminense

MINISTÉRIO DA  
EDUCAÇÃO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO DOS SOLOS NA CIDADE DE MACAÉ E  
ANÁLISE DO CENÁRIO LEGAL DE DRENAGEM URBANA

ANNA CAROLINA FONTES DA LUZ

MACAÉ-RJ

2019

ANNA CAROLINA FONTES DA LUZ

AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO DOS SOLOS NA CIDADE DE MACAÉ E  
ANÁLISE DO CENÁRIO LEGAL DE DRENAGEM URBANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador(a): Dr. Jader Lugon Junior

Coorientador(a): Dr. Fábio Freitas Ferreira

MACAÉ-RJ

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

L979a Luz, Anna Carolina Fontes da, 1993-.  
Avaliação da infiltração e percolação dos solos na cidade de Macaé e análise do cenário legal de drenagem urbana /Anna Carolina Fontes da Luz. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.  
xii, iii, 34 f.: il. color.

Orientador: Jader Lugon Junior, 1962-.  
Coorientador: Fábio Freitas Ferreira, 1975-.

Dissertação (Mestrado). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.  
Inclui referências.


1. Controle de inundações - Rio de Janeiro (Estado). 2. Estrutura do solo - Macaé (RJ). 3. Solos - Percolação. 4. Drenagem. 5. Escoamento urbano. 6. Saneamento - Legislação. I. Lugon Junior, Jader, 1962-, orient. II. Ferreira, Fábio Freitas, 1975-, coorient. III. Título.

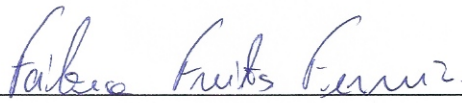
CDD 627.4098153 23.ed.

Dissertação intitulada AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO DOS SOLOS NA CIDADE DE MACAÉ E ANÁLISE DO CENÁRIO LEGAL DE DRENAGEM URBANA, elaborada por **Anna Carolina Fontes da Luz** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

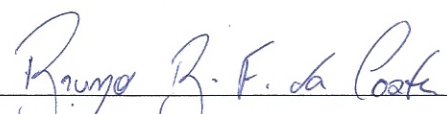
Aprovado em: 17/07/2019

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Fábio Freitas Ferreira, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Universidade Federal Fluminense (UFF) – Coorientador

  
\_\_\_\_\_  
Luis Felipe Umbelino dos Santos, Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

  
\_\_\_\_\_  
Bruno Barzellay Ferreira da Costa, Doutor em Engenharia Civil / Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho e toda a minha vida à Deus, que sempre me dá direcionamento e força para concluir os meus propósitos na vida.

## AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais, Candida Maria e José Antonio, por serem minha força, pelo incentivo e apoio incondicional em todos os momentos.

Ao meu namorado, Pablo Barcelos, que sempre me apoia e me incentiva em tudo. Estando sempre interessado e disposto a ajudar.

À todos os amigos, por me acompanharem nessa trajetória, diretamente na realização dos ensaios e trabalhos de campo, e indiretamente com palavras de apoio e incentivo, tornando a caminhada até aqui muito mais tranquila.

Ao meu professor orientador Jader Lugon Junior, pelo apoio, direcionamento, correções, disponibilidade, conhecimentos e experiência compartilhadas. Além disso, pela paciência durante todo o mestrado, sempre compreensivo e incentivador. Sua orientação foi indispensável para o êxito do trabalho e para que eu me mantivesse firme na conclusão do mestrado.

Ao meu professor coorientador, Fábio Freitas Ferreira, que me acompanha desde a qualificação e sempre esteve disposto a ajudar.

Ao professor Gustavo Ferreira Vaz e Carlos (Macambira), professor coordenador e técnico, respectivamente, do Laboratório de Mecânica dos Solos da UFRJ-Macaé, por se prontificarem a me ajudar no que fosse necessário com a realização dos ensaios no laboratório. Aproveito também para agradecer à UFRJ-Macaé, por me proporcionar a utilização do mesmo e além disso, ter me dado a base de conhecimentos necessários durante a graduação para realização deste mestrado.

Aos membros da banca pelo interesse e disponibilidade com o meu trabalho, bem como sugestões e críticas construtivas.

Aos demais professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos, bem como pela disponibilidade nos momentos necessários.

**EPÍGRAFE**

Trabalho e oração superam tudo. (Pietro Mannarino)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias.....	06
Figura 2 – População residente e domicílios na cidade de Macaé nos anos 1980 e 2010.....	20
Figura 3 – Bairro da Glória em fevereiro de 2018, via de acesso da Rodovia Amaral Peixoto para Linha Verde/Linha Azul em Macaé-RJ.	21
Figura 4 – Infiltrômetro de duplo anel instalado no solo à esquerda; e ilustração do comportamento do fluxo de água durante o teste à direita.	26
Figura 5 – Infiltração acumulada (m) e velocidade de infiltração (mm/min), resultado do teste no Ponto 1.....	28
Figura 6 – Infiltração acumulada (m) e velocidade de infiltração (mm/min), resultado do teste no Ponto 2.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado.....	25
Tabela 2 – Resultados do teste com o infiltrômetro de duplo anel no ponto 1.....	28
Tabela 3 – Resultados do teste com o infiltrômetro de duplo anel no ponto 2.....	29
Tabela 4 – Resultados obtidos nos ensaios de laboratório.....	30
Tabela 5 – Resultados obtidos do software Rosetta.....	31

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Instrumentos de gestão de cheias urbanas.....	10
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANA – Agência Nacional de Águas.

*ASTM – American Society for Testing and Materials*

*BMP – Best Management Practices.*

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais.

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres.



CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres.

CEPETEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos.

Cobrade – Codificação Brasileira de Desastres.

Codar – Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos.

DNER – Departamento de Estradas e Rodagem.

*DRI – Disaster Risk Index.*

DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento

*EEA – European Environmental Agency.*

*EPA – Environmental Protection Agency.*

*GHC – Global Hotspot Classification.*

*GPS – Geographic Positioning System.*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFFluminense – Instituto Federal Fluminense.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

*LID – Low Impact Development.*

NBR – Norma Brasileira.

*NWRM – Natural Retention Measures.*

OUC – Operação Urbana Consorciada.

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos.

PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico.

PPEA – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental.

RJ – Rio de Janeiro.

UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

UNDP – United Nations Development Programme.

*US – United States.*

# **AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO DOS SOLOS NA CIDADE DE MACAÉ E ANÁLISE DO CENÁRIO LEGAL DE DRENAGEM URBANA**

## **RESUMO**

A ocorrência de alagamentos e inundações no estado do Rio de Janeiro é frequente e preocupante, visto que afeta diretamente a qualidade de vida da população, provocando danos materiais e humanos. Neste sentido, é importante a compreensão dos instrumentos legislativos específicos que auxiliam no tratamento desta problemática para que se tenha um direcionamento acerca das ações a serem tomadas, sendo possível incorporar técnicas mais sustentáveis de engenharia, como as técnicas compensatórias, de forma a complementar o sistema tradicional de drenagem e de amenizar tais ocorrências em determinadas localidades. Também é de grande relevância o conhecimento das características de infiltração, textura e propriedades hidráulicas dos solos dessas localidades, uma vez que tais parâmetros ditam o comportamento da água de chuva a partir do momento que atinge o solo. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar o cenário legal ao qual a drenagem urbana está inserido, incorporando primeiramente um cenário mais abrangente, com análises internacionais e nacionais, mas com foco no estado do Rio de Janeiro. Além disso, teve como objetivo fazer uma análise da legislação e uma avaliação de dois diferentes tipos de solos da cidade de Macaé, visando o entendimento do comportamento da infiltração e percolação da água de chuva nessas localidades. Os resultados encontrados mostram que já existe uma tendência de apoio legal à inserção das técnicas compensatórias. Ademais, pode-se perceber também que basear a legislação da cidade de Macaé em práticas que favoreçam apenas a infiltração pode não ser o melhor caminho, visto que este é um processo demorado.

**Palavras-chave:** Legislação. Código de Urbanismo. Alagamentos. Inundações. Infiltração. Infiltrômetro. Análise granulométrica. Solos. Condutividade Hidráulica. Rosetta. Drenagem Urbana.

**EVALUATION OF SOIL INFILTRATION AND PERCOLATION IN MACAÉ CITY AND  
ANALYSIS OF THE LEGAL SCENARIO OF URBAN DRAINAGE.**

**ABSTRACT**

*The occurrence of floods and floodings in the state of Rio de Janeiro is frequent and worrying, since it directly affects the quality of the population's life, causing material and human damages. In this sense, it is important to understand the specific legislation that helps to address this problem in order to guide the actions to be taken, and it is possible to incorporate more sustainable engineering techniques, such as compensatory techniques, in order to complement the drainage traditional system and, to a certain extent, mitigating such occurrences in certain localities. Likewise, it is important to know the characteristics of infiltration, texture and hydraulic properties of the soils of these localities, since these parameters dictate the behavior of rainwater from the moment they reach the soil. Within this context, the objective of this study was to analyze the legal scenario to which urban drainage is inserted, first incorporating a more comprehensive scenario with international and national analyzes, but focusing on the state of Rio de Janeiro; in addition, it aims to make an analysis of the legislation and an evaluation of two different types of soils in Macaé city, to understand the behavior of the infiltration and percolation of rainwater in these localities. The results show that there is already a trend of legal support for the insertion of compensatory techniques. In addition, it could also be realized that basing the legislation of the city of Macaé on practices that favor only infiltration may not be the best route since this is a time-consuming process.*

**Keywords:** *Legislation. Urbanism Code. Floodings. Floods. Infiltration. Infiltrometer. Granulometric Analysis. Soils. Hydraulic Conductivity. Rosetta. Urban Drainage.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	1
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1: USO DE INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE CHEIAS URBANAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....</b>	<b>02</b>
1. INTRODUÇÃO.....	04
1.1. Considerações iniciais.....	04
1.2. Formulação da situação problema.....	05
1.3. Objetivo geral.....	05
1.4. Metodologia.....	06
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	06
2.1. Cheias urbanas.....	06
2.2. Sistemas tradicionais (ou clássicos) de drenagem.....	07
2.3. Técnicas compensatórias.....	07
2.4. Experiências e gestão: internacional, nacional e no estado do Rio de Janeiro.....	10
3. CONCLUSÕES.....	16
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2: AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO, GRANULOMETRIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DE DOIS TIPOS DIFERENTES DE SOLOS NA CIDADE DE MACAÉ-RJ.....</b>	<b>21</b>
1. INTRODUÇÃO.....	22
1.1. Discussão inicial.....	22
1.2. Descrição da área de estudo e problematização.....	23
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	25
2.1. Infiltrômetro de duplo anel.....	25
2.2. Análise granulométrica.....	25
2.3. Propriedades hidráulicas.....	26
3. MATERIAL E MÉTODO.....	28
3.1. Trabalho de campo: infiltrômetro de duplo anel.....	28

3.2. Trabalho de laboratório: análise granulométrica	29
3.3. Trabalho computacional: software Rosetta	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Trabalho de campo: infiltrômetro de duplo anel	30
4.2. Trabalho de laboratório: análise granulométrica	32
4.3. Trabalho computacional: software Rosetta	33
5. CONCLUSÃO	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

## APRESENTAÇÃO

As ocorrências de alagamentos e inundações na maior parte do território brasileiro e no mundo são problemas recorrentes, muito relacionados à ineficiência do sistema de drenagem tradicional e às características regionais, as quais afetam diretamente a qualidade de vida da população. Nesse sentido, esta dissertação se apresenta em duas partes principais: Artigo 1 e Artigo 2, cujos temas são relacionados e complementares, envolvendo questões acerca da drenagem urbana.

O Artigo 1 discute sobre sistemas sustentáveis de drenagem urbana com as técnicas compensatórias para complementar o sistema de drenagem tradicional, que não é capaz de sozinho atender toda a demanda, bem como estrutura uma pesquisa sobre os principais instrumentos legais de gestão de cheias urbanas em escopo internacional, nacional e com foco no estado do Rio de Janeiro. Dessa forma, foi possível entender o cenário no qual os sistemas de drenagem estão inseridos no que diz respeito à tendência de gestão pela utilização principalmente de reservatórios de detenção, a princípio sem evidências de estudos que comprovem a sua eficiência nas localidades pesquisadas.

O Artigo 2 faz avaliações em dois locais com tipos de solos diferentes na cidade de Macaé: da infiltração através do teste com o infiltrômetro de duplo anel, da granulometria dos solos pela execução dos ensaios de análise granulométrica com peneiramento e sedimentação em laboratório e da condutividade hidráulica saturada através da utilização do *software* Rosetta. Com isso, foi possível entender o funcionamento dos processos de infiltração e percolação da água de chuva no solo, bem como avaliar se esse é o único e/ou melhor caminho na tratativa dos problemas de alagamentos e inundações da cidade.

## ARTIGO CIENTÍFICO 1



## USO DE INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE CHEIAS URBANAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Área temática: Gestão dos Recursos Naturais

**Anna Carolina Fontes da Luz**

[annafontesluz@gmail.com](mailto:annafontesluz@gmail.com)

(PPEA/IFF)

**Augusto Eduardo Miranda Pinto**

[augustoepinto@gmail.com](mailto:augustoepinto@gmail.com)

(PPEA/IFF)

**Luiz Felipe Umbelino**

[lfumbelino@gmail.com](mailto:lfumbelino@gmail.com)

(PPEA/IFF)

**Jader Lugon Junior**

[jlugonjr@gmail.com](mailto:jlugonjr@gmail.com)

(PPEA/IFF)

**Resumo:** *O crescimento populacional e o processo de urbanização tornaram os eventos de cheias urbanas mais frequentes na maior parte do território urbano brasileiro e do mundo, assim, o sistema de drenagem tradicional não é capaz de atender toda a demanda, causando danos a qualidade de vida da população. Nesse sentido, o estudo de sistemas sustentáveis de drenagem com as técnicas compensatórias se tornam fundamentais para complementar os sistemas já existentes. Neste trabalho apresentam-se resultados da pesquisa sobre os principais instrumentos legais de gestão internacional e nacional de cheias urbanas, com foco no estado do Rio de Janeiro, e o desenvolvimento dos conceitos sustentáveis de drenagem nessas localidades, além de aspectos conceituais sobre: Cheias urbanas; Sistemas Tradicionais (ou Clássicos) de Drenagem; e Técnicas compensatórias. O objetivo geral do trabalho foi realizar um levantamento das técnicas disponíveis para mitigação das cheias urbanas, instrumentos de gestão relacionados e suas relações com a ocorrência de desastres ambientais no estado do Rio de Janeiro, podendo-se concluir que existe uma tendência de gestão sendo implementada, motivados pelos severos eventos locais.*

**Palavras-chaves:** *Alagamentos, Melhores Práticas de Gestão, Desenvolvimento de Baixo Impacto, Técnicas Compensatórias, Cheias Urbanas.*

**Abstract:** *The population growth and the urbanization process have made urban flood events more frequent in most Brazilian urban territory and around the world, so the traditional drainage system isn't able to meet all demand, causing damages to the quality of populations' life. In this sense, the study of sustainable drainage system with compensatory techniques have become essential to complement the existing systems. This paper presents the research's results about the main instruments of urban flood management in the international and national scenario, with focus in Rio de Janeiro state, and the development of sustainable drainage concepts in these localities, as well as conceptual aspects of: Urban floods; Traditional (or classical) drainage systems; and Compensatory Techniques. The general objective of this paper was to accomplish a research about available techniques for urban flood mitigation, related management instruments and their relations with environmental disasters occurrence in the state of Rio de Janeiro, being able to conclude that already exist a trend of management implemented, motivated by severe local events.*

**Keywords:** *Flooding, Best Management Practices, Compensatory Techniques, Low Impact Development, Urban Flood.*



# 1 Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

De acordo com o IBGE (2010), no Brasil entre as décadas de 1960 e 1970 ocorreu a inversão do perfil populacional, quando a população deixou de ser majoritariamente rural e passou a ser majoritariamente urbana. O aumento populacional e a consequente urbanização com a ocupação e impermeabilização dos solos, conforme dito por Miguez, Veról e Rezende (2016), contribuem para degradação ambiental, agravamento dos eventos de cheias urbanas e degradação do ambiente urbano. Chang *et al.* (2018) complementam dizendo que as mudanças globais, incluindo o desenvolvimento econômico, crescimento da população e migração das áreas rurais para as regiões urbanizadas, e a variação climática resultam na formação de cidades mais cinzas com maiores potenciais de cheias urbanas por todo o mundo.

De acordo com Canholi (2014), historicamente tenta-se solucionar o problema da perda do armazenamento natural das águas pluviais com obras de canalização, que correspondem aos sistemas de drenagem pluviais tradicionais (ou clássicos). No entanto, a partir da década de 1970, segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2011), começaram a surgir as chamadas técnicas compensatórias, que tem como objetivo neutralizar os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico de forma a compensá-los sistematicamente através do controle dos excedentes de água e das suas velocidades de transferência a jusante, baseando-se essencialmente na infiltração e no armazenamento das águas pluviais.

De acordo com Brasil (2017), o governo federal brasileiro mantém alguns sistemas de monitoramento e alerta de chuvas, como: Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD; Instituto Nacional de Meteorologia – INMET; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN; Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC; a Agência Nacional de Águas – ANA; e o Observatório das Chuvas; com a função de gerenciar informações preliminares às ocorrências potenciais de desastres emitindo alertas e alarmes à população.

No estado do Rio de Janeiro, especificamente, foi criado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o Sistema de Alerta de Cheias, com o objetivo de informar às autoridades e à população quanto à possibilidade de chuvas intensas e de cheias que possam causar perdas materiais ou humanas. Tais ações são de extrema importância no conjunto de ações de gestão de riscos desses eventos, no entanto, se isoladas focam em ações emergenciais, e para serem inseridas numa abordagem sistêmica, deve-se considerar que possuem relações e atuam em conjunto, como especificado na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, que tem como uma de suas diretrizes a abordagem sistêmica

das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação.

De acordo com Dias, Júnior e Pimentel (2015), enquanto o sistema de alerta de cheias se insere na etapa Preparação que objetiva reduzir ao mínimo a perda de vidas humanas e outros danos, organizando de forma oportuna e eficaz a resposta e recuperação; a utilização das técnicas compensatórias se insere nas etapas Prevenção e Mitigação, com ações estruturais e não estruturais que objetivam minimizar os impactos das ameaças com: aumento da resiliência; aumento da capacidade de preparação, resposta e recuperação do impacto; e diminuição da vulnerabilidade.

Assim, a inserção de instrumentos legais de gestão dos riscos de inundações que utilizem as chamadas técnicas compensatórias e incentivem o uso das mesmas de acordo com as características específicas locais, configura uma excelente estratégia.

## **1.2 Formulação da Situação Problema**

Diante da problemática dos eventos de cheias urbanas e da ineficiência do sistema tradicional de drenagem diante da demanda atual, é de fundamental importância a adoção de medidas para a gestão dos riscos desses eventos incorporando medidas sustentáveis de drenagem que complementem tais sistemas, como as técnicas compensatórias.

Analisando individualmente os Atlas Brasileiros de Desastres Naturais 1991-2012 do CEPED UFSC (2013) dos estados da região sudeste (Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo), percebe-se que o estado do Rio de Janeiro apresenta o segundo maior número de alagamentos, com 56 registros oficiais, o que pode ratificar a ineficiência dos sistemas de drenagem nessa localidade e a necessidade de soluções alternativas.

Sendo assim, é de responsabilidade dos níveis de governança federal, estadual e municipal a formulação de instrumentos legais que incentivem ações para evitar ou mitigar os impactos desses eventos. Tais instrumentos devem ser adotados de acordo com as características regionais, portanto, é coerente analisá-los em diversas localidades afim de identificar possíveis aplicações e fatores condicionantes ao bom funcionamento dos mesmos.

## **1.3 Objetivo geral**

O objetivo geral do trabalho foi realizar um levantamento das técnicas disponíveis para mitigação das cheias urbanas, instrumentos de gestão relacionados e suas relações com a ocorrência de desastres ambientais no estado do Rio de Janeiro.

## 1.4 Metodologia

Neste trabalho foram realizadas pesquisas nas bases de dados Scielo e Scopus, além de bases de dados governamentais, visando fundamentar a área de estudo e desenvolver um levantamento de indicadores e legislações específicas. Assim, o trabalho foi desenvolvido abordando as seguintes questões: Cheias urbanas, Sistema de drenagem tradicionais (ou clássicos); Técnicas compensatórias; e Experiências de gestão internacional, nacional e no estado do Rio de Janeiro.

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Cheias Urbanas

O crescimento da população urbana acarreta no crescimento das cidades e assim, em alterações das suas características primárias, principalmente com relação a substituição das áreas permeáveis em impermeáveis e das áreas vegetadas em edificadas. Segundo Miguez, Veról e Rezende (2016), as modificações devido a ocupação do solo e conseqüente impermeabilização, contribuem para degradação ambiental e têm como conseqüência o agravamento do problema das cheias, que por sua vez, são responsáveis pela degradação do ambiente urbano com desvalorização das áreas inundáveis, interrupção da circulação de pedestres e sistemas de transportes, difusão de doenças, entre outras.

De acordo com Brasil (2013), a Defesa Civil Nacional desenvolveu a Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), instituída por meio da Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012, em substituição à Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (Codar) para adequar a classificação brasileira com os padrões estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) e contribuir com a alimentação do banco de dados internacional. Os desastres são classificados quanto à sua origem, assim, os eventos de cheias são classificados como naturais, do grupo hidrológico e se enquadram em três subgrupos principais, definidos como:

**Inundações:** Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.

**Enxurradas:** Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizado pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.

**Alagamentos:** Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de águas em ruas, calçadas ou outras infraestruturas, em decorrência de precipitações intensas.

(BRASIL, 2013)

Tucci (2016) explica que a precipitação numa bacia rural promove mais facilmente a infiltração, retenção e evaporação dos volumes precipitados, ao contrário das áreas urbanizadas. Na área urbana, devido principalmente à ação antrópica, são promovidos processos que geram consequências ao funcionamento das cidades e podem agravar os eventos de inundação. Foi apontado por Miguez, Veról e Rezende (2016) como sendo os principais agravantes desses eventos: retirada da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, canalização, ocupação de áreas potencialmente alagáveis, resíduos sólidos, favelização e as intervenções urbanas físicas nos cursos d'água; e tais eventos têm como principais consequências: diminuição da capacidade de amortecimento das cheias, aumento do volume e velocidade do escoamento superficial, redução da capacidade de armazenamento dos corpos hídricos, entre outras.

## **2.2 Sistemas Tradicionais (ou Clássicos) de Drenagem**

Tradicionalmente, o sistema de drenagem urbana é definido como o conjunto de elementos interligados em um sistema, destinado a captar as águas pluviais precipitadas sobre uma região, conduzindo-as, de forma segura, a um destino final (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016, p. 188).

Além disso, Miguez, Veról e Rezende (2016), destacam que o sistema tradicional de drenagem deve cumprir objetivos como: reduzir a exposição da população e das propriedades aos riscos de inundação; articular-se com o projeto de desenvolvimento urbano e a ocupação do solo; minimizar alterações hidrológicas, de erosão e sedimentação; preservar várzeas não urbanizadas; promover a utilização das várzeas, quando necessário, como forma de preservação através de atividades de lazer e contemplação; e proteger a qualidade ambiental e o bem-estar social.

O sistema tradicional de drenagem se divide em dois subsistemas tratados pela soluções de engenharia em: Microdrenagem e Macrodrenagem. De acordo com Netto *et al.* (1998), a microdrenagem se inicia nas edificações, passam para os coletores pluviais, para o escoamento das sarjetas e então entram nos bueiros e galerias, assim, os estudos são voltados para a traçados de ruas, topografia, declividades, entre outros; e a macrodrenagem abrange estudos sobre a área total da bacia hidrográfica, seu escoamento, ocupação, cobertura vegetal, aspectos sociais envolvidos, entre outros. Segundo Miguez, Veról e Rezende (2016), a eventual falha desses subsistemas ocasiona as inundações urbanas, cada uma com uma escala de impacto.

## **2.3 Técnicas Compensatórias**

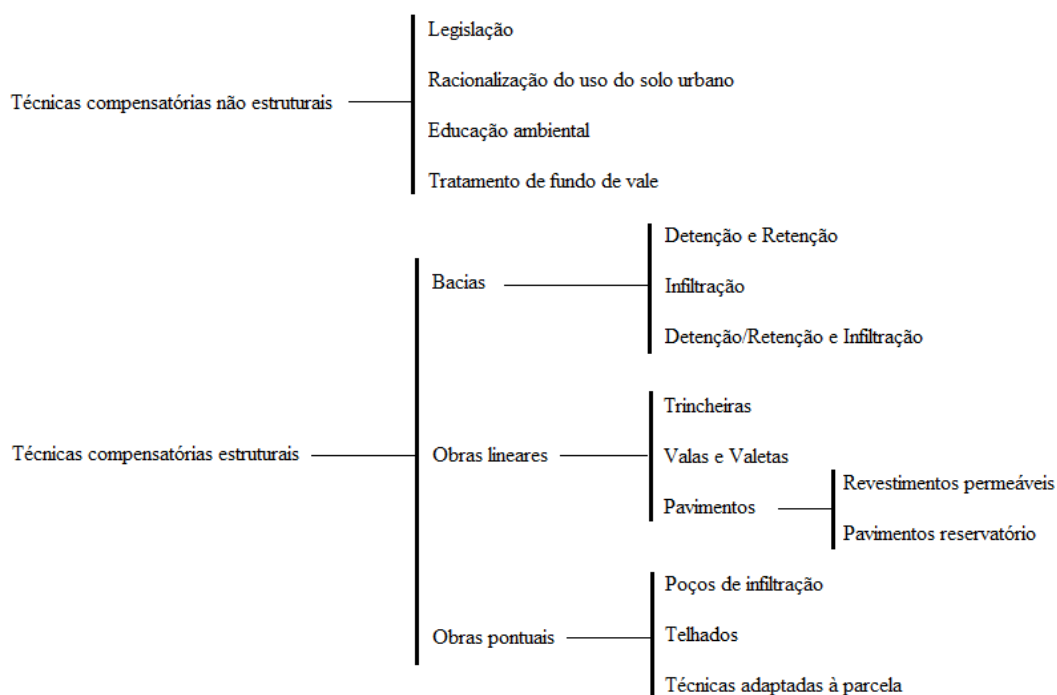
Historicamente, os engenheiros responsáveis pela drenagem urbana tentaram solucionar o

problema de perda do armazenamento natural, provocando o aumento da velocidade de escoamentos com obras de canalização (CANHOLI, 2014, p. 21). Assim, com maiores velocidades de escoamento superficial, menores são os tempos de concentração, maiores os picos de vazão e conseqüentemente, maior é a frequência dos eventos de cheias urbanas.

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2011) a partir da década de 1970 começou a ser desenvolvido um novo conceito para tratar o problema de drenagem urbana, chamado de “tecnologias compensatórias” ou “tecnologias alternativas”, cujo objetivo é neutralizar os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico de forma a compensá-los sistematicamente, beneficiando a qualidade de vida e a preservação ambiental através da visão global dos impactos da urbanização e tendo como base o estudo das particularidades da bacia hidrográfica. A compensação ocorre pelo controle dos excedentes de água produzidos pelo excesso de áreas impermeáveis e pelo controle da velocidade de transferência para jusante, baseando-se essencialmente na retenção e infiltração das águas precipitadas.

Baptista, Nascimento e Barraud (2011) explicam ainda que são diversos os critérios para viabilizar a utilização de cada uma dessas técnicas, podendo ser determinadas de acordo com aspectos físicos, urbanísticos e de infra-estrutura, sanitários e ambientais, e sócio-econômicos e que podem ser conceitualmente classificadas em dois grandes grupos: não-estruturais e estruturais, conforme a Figura 1.

Figura 1: Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2011).

Miguez, Veról e Rezende (2016), por sua vez, destacam dois grandes grupos de técnicas compensatórias estruturais: Medidas de armazenamento (reservatórios de detenção, reservatórios de retenção e reservatórios de lote), que privilegiam a armazenagem e a recuperação da capacidade de retenção; e as Medidas de infiltração (pavimentos permeáveis, vala de infiltração, trincheira de infiltração, telhado verde), que geram aumento da infiltração em áreas urbanas, favorecendo a permeabilidade do solo. Ambos descritos a seguir conforme explicitado por Miguez, Veról e Rezende (2016):

- Reservatórios de detenção, que armazenam as águas pluviais durante um curto período, de forma a reduzir as vazões de pico dos hidrogramas de cheia e a aumentar o tempo de base, redistribuindo assim as vazões ao longo de um tempo maior;
- Reservatórios de retenção, possuindo um lago permanente (volume morto) que retém o escoamento superficial, tratam o volume de água no reservatório através da sedimentação e dos mecanismos de decomposição biológica, assim, possuem uma acentuada função multitarefa: controle de enchentes, tratamento da qualidade da água, recreação e lazer, além de valorização da área ao entorno.
- Reservatórios de lote: que atuam em escala local, de modo distribuído sobre a bacia, controlando a geração de escoamento na fonte. Pode-se devolver a água pluvial armazenada ao sistema público de drenagem ou armazená-la para usos locais não-potáveis (limpeza de pisos, rega de jardins, entre outros).
- Pavimentos permeáveis: criam uma superfície que permite a infiltração de uma superfície permeável (ou pela porosidade do material ou pela abertura entre os blocos utilizados) para um reservatório sob a superfície do terreno ou para a rede de drenagem pluvial.
- Valas de infiltração: têm como função transportar o escoamento superficial ao longo das estradas, diminuindo a velocidade de escoamento e aumentando o tempo de concentração e infiltração.
- Trincheiras de infiltração: têm como objetivo o armazenamento da água por tempo suficiente para que seja promovida a infiltração no solo, assim reduzem os volumes escoados e as vazões máximas de enchentes.
- Telhado Verde: consiste na aplicação de vegetação sobre superfícies construídas, objetivando a redução do percentual de superfícies impermeáveis e consequentemente do escoamento das águas pluviais.

Estudos vêm sendo desenvolvidos acerca da efetividade de aplicação dessas técnicas em diversos lugares do mundo sob diferentes cenários. De acordo com Zhihua Zhu e Xiaohong Chen (2017), muitos estudos mostram que tais técnicas sob diferentes cenários de chuva podem efetivamente agir sobre as cheias urbanas e orientar formulações de medidas apropriadas para gestão dos mesmos.

Hu *et al.* (2017), simularam combinações de coletores de águas pluviais e pavimentos permeáveis no *software* Flo-2D em Najing na China, chegando aos resultados de redução de: 2-17% do total de áreas inundadas, 6-80% áreas com alto nível de risco às inundações e de 0.02-0.07m da maior profundidade de inundação. Além disso, também concluíram que a performance dos reservatórios de águas pluviais é altamente dependente da capacidade da cisterna utilizada, que é limitada em bacias urbanizadas.

Outro estudo na China, de Qin, Li e Fu (2013), mostrou os impactos de diferentes técnicas combinadas com o sistema de drenagem tradicional: as valas de infiltração tiveram a capacidade de armazenamento mais efetiva; os pavimentos permeáveis tiveram o maior impacto na redução de inundações; e os telhados verdes tiveram uma efetiva profundidade de armazenamento, sendo o mais efetivo em termos de redução dos volumes de inundação dos cenários analisados.

Ahiablame e Engel (2012) afirmam que as valas de infiltração são muito usadas não somente para diminuir a velocidade de escoamento, mas também para melhorar a qualidade das águas pluviais que serão infiltradas. A retenção média é de 14-98% para nutrientes e sólidos em suspensão e acima de 98% para os metais.

Assim, Miguez, Veról e Rezende (2016) acrescentam ainda que esses dispositivos funcionam tanto como soluções complementares ao sistema de drenagem tradicional, como podem também ser integrados ao ambiente urbano, proporcionando a união das soluções de drenagem com a revitalização e valorização do ambiente urbano, e otimizando assim a utilização dos dispositivos.

## **2.4 Experiências de Gestão: Internacional, Nacional e no Estado do Rio de Janeiro**

De acordo com Silva (2017), a partir de 1970, principalmente na Europa e na América do Norte, diversas concepções relativas a projetos de sistemas de drenagem integrados com o desenvolvimento urbano surgiram, com algumas diferenças entre elas, mas todas buscando a diminuição dos efeitos da urbanização sobre o sistema de drenagem, resgate do ciclo hidrológico natural e agregação de valor às cidades.

Segundo um relatório da EEA (2010), entre 1998 e 2009 a Europa sofreu mais de 26 grandes

desastres devido às inundações, causando mais de 1000 fatalidades, afetando mais de 3 milhões de pessoas e gerando mais de 60 bilhões em perdas econômicas. Nesse contexto, a Direção Geral de Meio Ambiente, departamento da Comissão Europeia responsável pelas políticas de meio ambiente da União Europeia promove o uso da *Green Infrastructure*, e essas são aplicadas as questões de água pelo *Natural Water Retention Measures* (NWRM), que dentre os diversos benefícios: auxilia na redução dos riscos de inundações, melhora a qualidade da água, promove a recarga das águas subterrâneas; através de técnicas como reservatórios de retenção, sumidouros, trincheiras de infiltração, entre outros.

De acordo com US EPA (2000), na década de 1980 nos Estados Unidos da América, a *Environmental Protection Agency* (EPA) desenvolveu os conceitos de *Best Management Practices* (BMP) cujo conceito é o planejamento do controle de águas pluviais em escala de bacia e uso de estruturas físicas para armazenamento e infiltração de forma a compensar os efeitos da urbanização. Dietz (2007) afirma que mais tarde na década de 1990 foi introduzido pioneiramente em Maryland as práticas de *Low Impact Development* (LID), que tem como objetivo reproduzir o comportamento hidrológico anterior ao processo de urbanização. Segundo Silva (2017), os conceitos e aplicações do LID evoluíram tanto que em abril de 2007 o *LID Center*, organização não-governamental que se dedica a divulgação das práticas e técnicas do LID, assinou uma Declaração de Intenções com a EPA para promover os benefícios e incentivar o uso para a gestão municipal de águas pluviais.

No Brasil, Baptista, Nascimento e Barraud (2011) trouxeram o conceito de Técnicas Compensatórias, que de acordo com Fletcher *et al.* (2015) começou a ser utilizado pelos países de língua francesa para descrever um novo paradigma de drenagem urbana, que saía da abordagem tradicional e se destaca por promover não somente soluções para os problemas de drenagem e poluição mas também para qualidade de vida.

Ainda no contexto nacional, de acordo com Brasil (2006), foi publicado pelo Ministério das Cidades em 2006 o Manual para Apresentação de Propostas – Programa Drenagem Urbana Sustentável. Esse Programa objetiva promover juntamente com as políticas de desenvolvimento urbano, uso e ocupação do solo e de gestão das bacias hidrográficas, a gestão sustentável da drenagem urbana com ações estruturais e não-estruturais. E visa principalmente dar apoio: à implementação e ampliação de sistemas de drenagem urbana sustentável; aos estados e municípios para elaboração de projetos de drenagem urbana sustentável; à implementação de sistemas de drenagem urbana sustentáveis e de manejo de águas pluviais em municípios especificados no projeto.

Segundo o Atlas Brasileiros de Desastres Naturais 1991-2012 do CEPED UFSC (2013), o aumento populacional promove também aumento da impermeabilização dos solos, o que acaba por gerar um maior volume escoado superficialmente e conseqüentemente menores volumes infiltrados. Assim, os municípios populosos tornam-se mais susceptíveis à ocorrência dos eventos de cheias.



Apesar da frequência na ocorrência desses eventos, Givisiez e Oliveira (2017), afirmam que com relação a indicadores e abordagens nacionais no meio científico brasileiro, a vulnerabilidade socioambiental é tratada em nível local, identificando grupos populacionais submetidos a um alto risco em relação a desastres específicos, não sendo possível identificar um único indicador de risco a desastres naturais que seja aplicável a múltiplas escalas e que seja coerente com as bases de dados disponíveis e com os desastres mais comuns no Brasil.

Com relação a indicadores e abordagens internacionais, Givisiez e Oliveira (2017) apontam o *Disaster Risk Index* – DRI, que foi proposto pela *United Nations Development Programme* – UNDP e o *Global Hotspot Classification* – GHC, proposto pelo Banco Mundial e *Columbia University*. O DRI é apresentado como a primeira avaliação dos fatores de risco a desastres por meio da comparação entre países da vulnerabilidade e exposição a terremotos, ciclones tropicais e inundações. No entanto, de acordo com a UNDP (2004), esse indicador apresenta diversas limitações, sendo uma das principais: representação apenas do risco de morte, e apenas no período entre 1980 e 2000. O GHC, por sua vez, considera perdas econômicas e risco de morte com relação a ciclones, secas, enchentes, terremotos, erupções vulcânicas e deslizamentos de terra.

Silva (2017) diz que como primeiro passo para a gestão dos riscos desses eventos, é preciso que sejam conhecidos os perigos associados. E para isso é necessário uma melhor compreensão dos tipos e causas, probabilidades de ocorrência, seus impactos, tipos de população afetada, entre outras características. Assim, pode-se concluir que é coerente analisar os instrumentos de gestão utilizados em cada região, visto que em cada uma delas haverá particularidades locais específicas.

Para isso, foram levantados os instrumentos de gestão em nível internacional (Europa e Estados Unidos) e Nacional, com ênfase no estado do Rio de Janeiro, cuja análise feita foi dos 5 municípios mais populosos, que juntos correspondem a cerca de 60% da população de todo o Estado do Rio de Janeiro. Sendo eles em ordem decrescente segundo o IBGE (2010): Rio de Janeiro (6.320.446 pessoas), São Gonçalo (999.728 pessoas), Duque de Caxias (855.048 pessoas), Nova Iguaçu (796.257 pessoas) e Niterói (487.562 pessoas), conforme Quadro 1.

Quadro 1: Instrumentos de gestão de cheias urbanas.

LOCALIDADE		INSTRUMENTO	DESCRIÇÃO
INTERNACIONAL	EUROPA	Diretiva 2007/60/CE	Avaliação e gestão dos riscos de inundações - O objetivo era estabelecer uma estrutura para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, de forma a reduzir as consequências associadas.
	EUA	Lei Nacional de Reforma do Seguro de Inundação/04	Traz o <i>The National Flood Insurance Program</i> – Originalmente criado em 1964, tem como objetivos: identificar áreas de risco de inundações e informar os riscos a população, incentivar o uso correto da terra de forma a não desenvolver terras expostas a danos por inundações e assim minimizar as perdas, acelerar a recuperação de inundações, mitigar perdas futuras, salvar vidas e reduzir custos pessoais e nacionais dos desastres.
FEDERAL	BRASIL	Lei nº 9.433/97	Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - Destaca-se entre os diversos objetivos: a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos naturais ou causados devido ao uso inadequado dos recursos naturais; e o incentivo a captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais.
		Lei nº 10.257/01	Estabelece diretrizes gerais da política urbana, cujo objetivo é ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e propriedade urbana. Têm destaque as seguintes diretrizes: garantia do direito a cidades sustentáveis, ordenação e controle do uso do solo e o tratamento prioritário as obras e infraestruturas de entre outras, abastecimento de água e saneamento.
		Lei nº 11.445/07	Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) - Considera drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas como uma parcela do saneamento básico. Destaca-se como objetivo: minimizar impactos ambientais relacionados às ações, obras e serviços de saneamento básico; e incentivar a utilização de equipamentos sanitários que auxiliem na redução do consumo de água.
		Lei nº 12.608/12	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) - Destaca-se entre os objetivos: estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e processos sustentáveis de urbanização; monitorar eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos e outros que sejam potencialmente causadores de desastres; produzir alertas sobre possibilidades de ocorrência; desenvolver consciência nacional sobre os riscos de.

<b>ESTADUAL</b>	<b>RIO DE JANEIRO</b>	Lei nº 7463/16	Regulamenta os procedimentos para armazenamento de águas pluviais e águas cinzas para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública e dá outras providências. Torna obrigatório para edificações construídas a partir desta publicação, a construção de reservatórios de águas pluviais para edificações de qualquer natureza que apresentem área impermeável superior a 500m <sup>2</sup> , sendo a capacidade do reservatório especificada na referida lei.
	<b>RIO DE JANEIRO</b>	Decreto nº 23.940/04	Torna obrigatório a construção de reservatórios de águas pluviais para terrenos com área impermeabilizada acima de 500m <sup>2</sup> , devendo o volume armazenado infiltrar no solo e então ser direcionado a rede após 1h de chuva ou ser direcionado para finalidades não potáveis.
<b>MUNICIPAL</b>	<b>RIO DE JANEIRO</b>	Decreto nº 35.745/12	Cria a qualificação Qualiverde e estabelece critérios para a obtenção. Tem como objetivo incentivar ações e práticas sustentáveis destinadas a redução dos impactos ambientais, e os projetos que obtiverem essa qualificação têm tramitação prioritária no processo de licenciamento.
	<b>SÃO GONÇALO</b>	Lei nº 348/11	Cria o sistema de reuso de águas pluviais, objetivando a instalação de reservatórios e a utilização de água para finalidades não potáveis, em órgãos públicos que possuam área impermeabilizada superior a 500m <sup>2</sup> .
	<b>DUQUE DE CAXIAS</b>	Não foram encontrados instrumentos legais municipais que contribuam para a gestão das cheias urbanas.	
	<b>NOVA IGUAÇU</b>	Lei nº 3.920/08	Torna obrigatório a construção de reservatórios de águas pluviais para edificações em obras ou reformas que possuam área impermeabilizada superior a 500m <sup>2</sup> como condicionante a obtenção do alvará ou habite-se.
	<b>NITERÓI</b>	Lei nº 1620/97	Torna obrigatório para aprovação de edificações residenciais na Zona Urbana a taxa de impermeabilização máxima de 90%, exceto nos locais onde a legislação específica determine taxa maior.
		Lei nº 2.626/08	Torna obrigatório na construção ou reforma de prédios públicos ou privados a execução de sistemas de retardamento do escoamento de águas pluviais para a rede de drenagem e aproveitamento para finalidades não-potáveis.
		Lei nº 2.630/09	Disciplina os procedimentos de armazenamento de águas pluviais, ficando as novas edificações, públicas ou privadas, com área de telhado igual ou superior a 500 m <sup>2</sup> ou edificações coletivas, residenciais, comerciais ou mistas que tenham mais de 50 unidades, na obrigatoriedade de serem dotadas de reservatórios de águas pluviais com capacidade especificada na referida lei.

		<p>Lei nº 3.061/13</p> <p>Operação Urbana Consorciada da Área Central do (“OUC” da área central) Dispensa as novas edificações na OUC do cumprimento da exigência de taxa de impermeabilização se a faixa de afastamento adjacente ao passeio guardar 60% da área permeável, respeitando os critérios definidos.</p>
--	--	--

Fonte: AUTORES (2018).

O Atlas Brasileiros de Desastres Naturais 1991-2012 do CEPED UFSC (2013) apresenta registros dos dez piores eventos de enxurradas, alagamentos e inundações, em termos de: danos humanos relacionados aos eventos mais severos (que contabiliza o total de mortos, desabrigados, desalojados e afetados), mortes e danos materiais. E apesar de 4 dos 5 municípios estudados apresentarem instrumentos de gestão, foram registrados para 2 desses 4 (São Gonçalo e Niterói) pelo menos uma posição.

Com relação ao Decreto nº 23.940/04, Vasconcelos, Miguez e Vazquez (2016), avaliaram por meio de modelagem computacional o efeito da adoção de determinadas técnicas compensatórias, em diversos cenários, implementando-as de forma isolada e combinada, e com chuvas de variadas durações e intensidades. Dentre essas técnicas, foi feito um estudo de caso de um terreno de 600m<sup>2</sup> utilizando o reservatório segundo a legislação vigente, e foi verificado que utilizá-lo isoladamente não contribui para o aumento da sustentabilidade da drenagem urbana, pois não foram verificados efeitos na redução das vazões de pico, no entanto, quando combinado à outras técnicas, como no caso do jardim rebaixado em paralelo, resultados expressivos foram verificados, com diminuição de até 72% da vazão de saída.

De acordo com Ferreira *et al.* (2018), uma das maiores inovações introduzidas pela Lei nº 9433/97, quando comparada a modelos anteriores de governança, foi a descentralização do processo de tomada de decisões, passando de um modelo centrado no governo para um modelo descentralizado e participativo. O que permite uma ação mais direta dos estados e municípios nas questões relacionadas aos recursos hídricos e nos demais assuntos abordados, como a gestão das águas pluviais, que auxilia na mitigação de eventos de cheias urbanas e nos seus instrumentos de gestão.

Percebe-se que no estado do Rio de Janeiro, analisado pela legislação estadual e municipal nos 5 municípios mais populosos, todos localizados na região metropolitana, existe uma predominância a obrigatoriedade perante legislações municipais ao uso de reservatórios de águas pluviais como principal forma de auxílio ao sistema de drenagem urbana e mitigação dos impactos das chuvas.

Analisando comparativamente os municípios do estado do Rio de Janeiro que foram levantados no trabalho, pode-se perceber que Niterói se destaca em termos de quantidade de instrumentos legais de gestão das cheias urbanas com 4 instrumentos, seguido pelo município do Rio de Janeiro com 2, São

Gonçalo e Nova Iguaçu com 1 instrumento cada um, e por último Duque de Caxias.

O gerenciamento de drenagem nas cidades brasileiras, de maneira geral, é realizado pelas prefeituras municipais, uma prática adotada na maioria das cidades do mundo. Entretanto, inexiste entre nós uma visão global que integre esse gerenciamento ao planejamento urbano (CANHOLI, 2014, p. 17). Nesse sentido, o que ocorre são ações descentralizadas de gestão das cheias urbanas ao longo de todo o território, sem uma abordagem específica e integrada.

### 3 Conclusões

Diante do que foi levantado, percebe-se que já existe uma tendência estadual de apoio governamental à inserção das técnicas compensatórias como complemento ao sistema de drenagem tradicional, com o objetivo de mitigar possíveis eventos de cheias urbanas e até mesmo reutilizar os volumes precipitados para diversos outros fins.

Dos 5 municípios analisados no estado no Rio de Janeiro, 4 já possuem pelo menos uma técnica compensatória adotada como instrumento legal de gestão das cheias urbanas, número que corresponde a 80% do total, sendo majoritariamente utilizados os reservatórios de águas pluviais (reservatórios de detenção). Nessa análise o município de Niterói se destaca, apresentando 4 instrumentos legais associados a gestão das cheias urbanas. Cabe destacar também o instrumento estadual de gestão (Lei Estadual nº 7463/16), publicado após os instrumentos dos municípios, que aponta o mesmo caminho.

À princípio não foi possível identificar uma relação direta entre a adoção dos mesmos e a ocorrência dos eventos de cheias urbanas, pois São Gonçalo e Niterói (que possuem instrumentos legais de gestão) apresentam pelo menos 1 posição entre os dez piores eventos de enxurradas, alagamentos e/ou inundações, em termos de danos humanos relacionados aos eventos mais severos (que contabiliza o total de mortos, desabrigados, desalojados e afetados), mortes e danos materiais.

É perceptível no estado do Rio de Janeiro o desenvolvimento dos conceitos sustentáveis de drenagem com as técnicas compensatórias, no entanto, ainda existem caminhos a serem explorados. Por exemplo a utilização de técnicas além dos reservatórios de detenção, como os pavimentos permeáveis, valas de infiltração, jardins de chuvas, telhados verdes, entre outros, que já são bastante difundidas no cenário internacional e vêm sendo estudadas no Brasil mostrando bons resultados.

Sendo assim, justifica-se a pesquisa pela importância do tema num cenário de frequentes eventos de cheias urbanas e na urgência de busca de instrumentos de gestão e técnicas mais eficazes na mitigação desses eventos, ficando evidente a necessidade de aprofundar os estudos relacionados a eficácia dos instrumentos de gestão adotados em cada município para considerar as características regionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A. **Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research.** Water Air Soil Pollut. 223:4253-4273. 2012.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** ABRH. 2ª ed. Porto Alegre. 2011.

BRASIL. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais.** Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD. Brasília, 2013.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1 da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)>. Acesso em: 01 mai. 2018.

BRASIL. Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília. 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm)>. Acesso em: 01 mai. 2018.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666 de 21 de junho de 1993, 8.987 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília. 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 01 mai. 2018.

BRASIL. Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm)>. Acesso em: 01 mai. 2018.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. **Módulo de Formação: noções básicas em proteção e defesa civil e em gestão de riscos: livro base.** 1ª ed. Brasília. 2017.

BRASIL. **Programa de Drenagem Urbana Sustentável.** Ministério das Cidades. 2006. Manual para apresentação de propostas. 23 p. 2006.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2ª ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2014.

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/apresentacao/>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

CEPED UFSC – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2012**. 2ª edição revista e ampliada. Florianópolis. 2013.

CHANG, N. B.; LU, J.; CHUI, T. F. M.; HARTSHORN, N. **Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions**. Land Use Policy. Vol. 70, 368-383 p. 2018.

DIAS, F. S.; JÚNIOR, J. E. F. de F.; PIMENTEL, I. M. C. **A gestão de risco de inundação no estado do Rio de Janeiro**. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Brasília. 2015.

DIETZ, M. E. **Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions**. Water Air Soil Pollut 186: 351-363. 2007.

EEA - European Environmental Agency. **Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe - An overview of the last decade**. Copenhagen, 2010.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **The National Flood Insurance Reform Act of 2004**. 2004. Disponível em: <<https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1748-25045-4942/fira2004.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2018.

FERREIRA, M. I. P.; SHAW, P.; SAKAKI, G. K.; ALEXANDER, T.; DONNINI, J. G. B.; REGO, V. V. B. S. **Collaborative governance and watershed management in biosphere reserves in Brazil and Canada**. Re. Ambient. Água. Vol 12, nº 3, e2225, Taubaté. 2018.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P. S.; RIVAR, G.; UHL, M.; DAGENIS, D.; VIKLANDER, M. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage**. Urban Water Journal. Vol 12, nº 7, 525-542p. 2015.

GIVISIEZ, G. H. N.; OLIVEIRA, E. L. de. **Risco e vulnerabilidade social a desastres naturais no Brasil: proposta de um arcabouço para indicadores multiescalares**. In *Anais do I Congresso Nacional de Geografia Física*. Campinas. 2017.

HU, M.; SAYAMA, T.; ZHANG, X.; TANAKA, K.; TAKARA, K.; YANG, H. **Evaluation of low impact development approach for mitigation flood inundation at a watershed scale in China**. Journal of Environmental Management. Vol. 193, 430-438 p. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico. Séries Históricas. População, 1950-2010**. [2010?]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Séries Históricas e Estatísticas. **População**. (1970). Disponível em: <<https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>>. Acesso em 06 mai. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Séries Históricas e Estatísticas. **População**. (2010). Disponível em: < <https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>>. Acesso em 06 mai. 2018.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1ª ed. Ed Elsevier. Rio de Janeiro. 2016.

NETTO, A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8ªed. São Paulo. Blucher. 1998.

NITERÓI. Lei n. 1.620, de 24 de dezembro de 1997. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/ucbei>>. Acesso em 06 maio. 2018.

NITERÓI. Lei n. 2.626, de 31 de dezembro de 2008. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/ripjl>>. Acesso em 06 maio. 2018.

NITERÓI. Lei n. 2.630, de 08 de janeiro de 2009. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/ipjlr>>. Acesso em 06 maio. 2018.

NITERÓI. Lei n. 3.061, de 04 de dezembro de 2012. Disponível em: < <http://leismunicipa.is/luadh>>. Acesso em 06 maio. 2018.

NOVA IGUAÇU. Lei n. 3.920, de 14 de abril de 2008. Disponível em: < <https://camara-municipal-de-nova-iguacu.jusbrasil.com.br/legislacao/570603/lei-3920-08>>. Acesso em 06 maio. 2018.

QIN, H.; LI, Z.; FU, G. **The effects od low impact Development on urban Flooding under diferente rainfall characteristics**. Journal of Environmental Management. Vol. 129, 577-585 p. 2013.

RIO DE JANEIRO. Decreto n. 23.940, de 30 de janeiro de 2004. Disponível em: < <http://www2.rio.rj.gov.br/smu/buscafacil/Arquivos/PDF/D23940M.PDF>>. Acesso em 06 maio. 2018.m3d4

RIO DE JANEIRO. Decreto n. 35.745, de 06 de junho de 2012. Disponível em: < [http://smaonline.rio.rj.gov.br/legis\\_consulta/42362Dec%2035745\\_2012.pdf](http://smaonline.rio.rj.gov.br/legis_consulta/42362Dec%2035745_2012.pdf)>. Acesso em 06 maio. 2018.m3d4

RIO DE JANEIRO. Lei Estadual nº 7463, de 18 de outubro de 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/GVvkdR>>. Acesso em 06 de maio de 2018.

SÃO GONÇALO. Lei n. 348, de 03 de junho de 2011. Disponível em: < [http://www.saogoncalo.rj.gov.br/diario/2011\\_06\\_10.pdf](http://www.saogoncalo.rj.gov.br/diario/2011_06_10.pdf)>. Acesso em 06 maio. 2018

SILVA, G. C. O. **Uso de instrumentos da gestão do risco de cheias como ferramenta no planejamento urbano**. Tese (Doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2017.

SHAFIQUE, M.; KIM, R. **Green stormwater infrastructure with low impact development concept: a review of current research**. Desalination and Water Treatment. Vol. 83, 16-29 p. 2017.



TUCCI, C. E. M. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil**. REGA, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, jan./jun. 2016

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2007/60/CE – **Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundação**. 2007. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT-EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0060&from=EN>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

UN - UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. (ST/ESA/SER.A/366). 2015.

UNDP – UNITED NATION DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York. 2004.

US EPA – United States Environmental Protection Agency. **A Low Impact Development – A literature Review**. Wasgington. 2000.

ZHIHUA, Z.; XIAOHONG, C. **Evaluating the Effects of Low Impact Development Practices on Urban Flooding under Different Rainfall Intensities**. Water. Vol 9, nº 7, 548. 2017.

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO, GRANULOMETRIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DE DOIS TIPOS DIFERENTES DE SOLO NA CIDADE DE MACAÉ-RJ

#### *EVALUATION OF INFILTRATION, GRANULOMETRY AND SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF TWO DIFFERENT SOIL TYPES IN MACAÉ-RJ CITY*

Anna Carolina Fontes da Luz - IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior - IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

Na discussão acerca da drenagem urbana é preciso que sejam considerados os parâmetros que caracterizam as condições locais para que seja possível traduzir as conclusões em estratégias para soluções dos problemas relacionados aos alagamentos e inundações. Nesse sentido, o conhecimento das características do solo local, que atuam diretamente na infiltração e percolação da água de chuva, atenuando os efeitos da ineficiência do sistema de drenagem tradicional, é de grande importância para que sejam pesquisadas novas alternativas de engenharia. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo principal a avaliação da infiltração através do infiltrômetro de duplo anel, avaliação da granulometria dos solos através do ensaio de análise granulométrica em laboratório e avaliação da condutividade hidráulica saturada através da utilização do *software* Rosetta, em dois diferentes tipos de solo da cidade de Macaé-RJ. Como objetivos secundários pode-se mencionar a contribuição para a discussão da temática, problema recorrente nesta região, possibilitando uma melhora na qualidade de vida da população local; contribuição no aumento do banco de dados de solos brasileiros e principalmente da região, ambos ainda escassos, configurando portanto também uma importante contribuição para a comunidade científica. Os resultados mostram indícios de que considerar somente a infiltração para a tratativa dos problemas de drenagem urbana pode não ser um bom caminho, visto que este é um processo lento.

**Palavras chave:** Infiltração. Infiltrômetro. Análise Granulométrica. Solos. Condutividade Hidráulica. Rosetta. Drenagem Urbana. Alagamentos. Inundações.

## **ABSTRACT**

*In the discussion about urban drainage, it is necessary to consider the parameters that characterize the local conditions so that it is possible to translate the conclusions into strategies for solutions to problems related to floods and floods. In this sense, the knowledge of local soil characteristics, which act directly on the infiltration and percolation of rainwater, attenuating the effects of the inefficiency of the traditional drainage system, is of great importance for the research of new engineering alternatives. Therefore, the main objective of the present work is the evaluation of the infiltration through the double ring infiltrometer, evaluation of the soil granulometry through the granulometric analysis in the laboratory and evaluation of the saturated hydraulic conductivity using the Rosetta software in two different types of soil in Macaé-RJ city. As secondary objectives we can mention the contribution to the discussion of the theme, recurrent problem in this region, enabling an improvement in the quality of life of the local population; contribution to increase the database of Brazilian soils and mainly the region, both still scarce, thus also making an important contribution to the scientific community. The results show evidence that considering only infiltration for the treatment of urban drainage problems may not be a good pathway since this is a slow process.*

**Keywords:** *Infiltration. Infiltrometer. Granulometric Analysis. Soil. Hydraulic Conductivity. Rosetta. Urban Drainage. Flood. Flooding.*

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Discussão inicial**

Aspectos técnicos sobre as características do solo local precisam ser considerados quando é necessário estabelecer estratégias para soluções de problemas relacionados à alagamentos e inundações, assim torna-se possível estimar o comportamento da infiltração da água de chuva e discutir possíveis medidas a serem adotadas para a tratativa do problema. Nesse sentido, o conhecimento das taxas de infiltração, textura do solo e condutividade hidráulica saturada do local de estudo são parâmetros fundamentais na estimativa da capacidade de retenção de água no solo e conseqüentemente no direcionamento da discussão sobre técnicas de engenharia que possam ser úteis.

Dentro desse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo principal avaliar a infiltração da água de chuva no solo de pontos específicos da cidade de Macaé, baseando-se em parâmetros técnicos

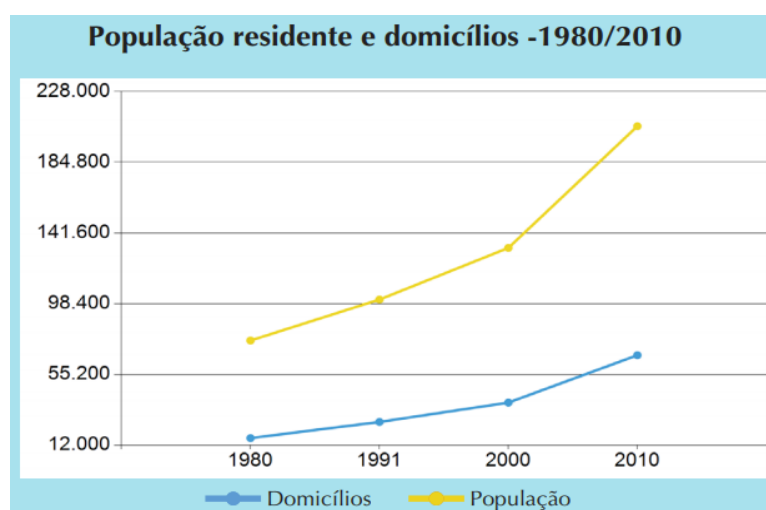
determinados por testes de campo e ensaios de laboratório, bem como analisar a condutividade hidráulica saturada através da utilização do software Rosetta a partir dos resultados dos testes anteriores, de forma a entender a importância desse parâmetro na discussão sobre os problemas de drenagem urbana local.

Como objetivos secundários destaca-se: a contribuição para a discussão da temática, problema recorrente na cidade de Macaé-RJ, possibilitando uma melhora na qualidade de vida da população local; contribuição no aumento do banco de dados de solos brasileiros e principalmente da região, ambos ainda escassos, configurando portanto também uma importante contribuição para a comunidade científica.

## 1.2. Descrição da área de estudo e problematização

O município de Macaé fica localizado no litoral Norte do estado do Rio de Janeiro e seu desenvolvimento aconteceu principalmente a partir da década de 1970 com a descoberta do petróleo da Bacia de Campos e instalação da Petrobras na cidade, culminando na instalação de outras empresas da indústria de óleo de gás (PREFEITURA DE MACAÉ, 2019). Com isso, além do desenvolvimento industrial e econômico, houve também um considerável crescimento populacional, devido ao intenso fluxo migratório decorrente das atividades dessa indústria. Como mostra a Figura 1 com dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), (1980-2010), pode-se perceber um crescimento exponencial na população e número de domicílios na cidade.

Figura 1 - População residente e domicílios na cidade de Macaé nos anos 1980 e 2010.



Fonte: IBGE, 1980-2010.

Nesse sentido, a cidade passou por um processo acelerado e desordenado de urbanização, que somados a retilinização do Rio Macaé pelo DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) também na década de 1970, configuraram-se cenários dentro da cidade de verdadeiras barragens ao escoamento de águas pluviais, com diversos obstáculos para que as águas cheguem ao Rio Macaé; assoreamento do Canal Campos-Macaé, perdendo a sua condição de drenagem (SOFFIATI, 2011).

Com o espaço costeiro da cidade intensamente urbanizado, a expansão da cidade se encaminhou para a Linha Verde, Linha Azul e a Rodovia RJ-118, que são áreas de tabuleiros, formados por baixas colinas e depressões, irrigada por banhados e pequenos cursos d'água que são fundamentais para a retenção e escoamento de águas pluviais, e controle das cheias. Dessa forma, a expansão para a área, nivelando excessivamente o terreno e o conseqüente dismantelamento dos tabuleiros para aterramento, configura um perigoso cenário para a macrodrenagem urbana. (SOFFIATI, 2011)

Em Macaé são frequentes os registros de alagamentos e inundações, atingindo diversos bairros e causando transtornos para toda a população. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991-2012 (CEPED UFSC, 2013), Macaé foi o município do estado do Rio de Janeiro mais afetado por alagamentos nesse período, com 8 (oito) eventos, totalizando mais de 14% (quatorze por cento) dos registros oficiais. Desses 8 (oito) eventos, 4 (quatro) deles figuram dentro dos eventos mais severos de alagamentos do período, registrando números expressivos de desabrigados, desalojados, afetados e de danos materiais. A Figura 2 mostra as conseqüências da chuva forte em fevereiro de 2018 em uma importante via de acesso da Rodovia Amaral Peixoto para a Linha Verde e Linha azul.

Figura 2 - Bairro da Glória em fevereiro de 2018, via de acesso da Rodovia Amaral Peixoto para Linha Verde/Linha Azul em Macaé-RJ.



Fonte: Autora, 2019.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Infiltrômetro de duplo anel

De acordo com Pinto *et al.* (1976), denomina-se infiltração ao fenômeno de penetração da água nas camadas do solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada-suporte, que a retém, formando então a água do solo. E segundo Champatiray (2014), os principais fatores que influenciam a infiltração são: o tipo de solo, a cobertura do solo, a topografia e morfologia das encostas, intensidade das chuvas e fluxo de irrigação, a condição inicial de umidade do solo e compactação do solo.

O infiltrômetro de duplo anel vem sendo amplamente utilizado para estudos com diferentes objetivos. Fatehnia *et al.* (2016), por exemplo, fez um estudo para determinar a condutividade hidráulica saturada a partir das medições da taxa de infiltração utilizando o infiltrômetro de duplo anel, através da comparação dos resultados de dois modelos diferentes. Em uma temática parecida, Vand *et al.* (2018), fez uma avaliação entre modelos de infiltração utilizando dados obtidos através do teste com o infiltrômetro de duplo anel em 16 diferentes localidades no Irã. Nestingen *et al.* (2018) comparou diferentes infiltrômetros de campo, sendo eles: infiltrômetro modificado de Philip-Dunne, infiltrômetro de duplo anel e infiltrômetro de minidisco.

Os resultados obtidos com o teste do infiltrômetro de duplo anel são relevantes quando se consideram fatores como facilidade e custo de execução do teste, mas segundo Pinto *et al.* (1976), algumas causas de erro devem ser consideradas: ausência do efeito de compactação produzida pela água a chuva, fuga do ar retido para a área externa aos tubos e deformação da estrutura do solo com a cravação dos tubos.

### 2.2. Análise granulométrica

Segundo Pinto (2006), os solos se originam da decomposição de rochas, devido aos agentes físicos e químicos, e a primeira característica que os diferencia é o tamanho das partículas. Assim, denominações específicas são empregadas e os seus limites variam de acordo com os sistemas de classificação existentes. Nesse sentido, a análise granulométrica consiste na determinação da distribuição das frações granulométricas de determinado solo, que raramente são uniformes.

Stürmer *et al.* (2009) utilizou a análise granulométrica pelo método da pipeta de acordo com o EMBRAPA (1997), associada ao teste com o infiltrômetro de duplo anel para analisar informações sobre a infiltração de água em cinco áreas no Rio Grande do Sul. Em uma outra abordagem, Cruz *et*

*al* (2013) utilizou a análise granulométrica conforme a NBR 7181/1968 como um suporte para análise da contaminação ambiental em nascente do rio Subaé em Feira de Santana (BA). Klein *et al.* (2013) por sua vez, avaliou a qualidade de diferentes metodologias de controle de qualidade da análise granulométrica, por meio de amostras com diferentes tipos texturas.

Li *et al.* (2016) utilizou a análise granulométrica de trinta e quatro diferentes pontos na bacia do rio Heiver, na China, como base de dados para uma comparação entre três modelos e o programa Rosetta na predição na curva de retenção de água no solo. Kozłowski e Komisarek (2017) fizeram um estudo para verificar se a classificação textural é útil para avaliação da retenção de água no solo e propriedades hidráulicas, e também para determinar quais as classes texturais são caracterizadas pela maior variabilidade desses parâmetros.

### **2.3. Propriedades hidráulicas**

Segundo Ramos *et al* (2011), as propriedades hidráulicas apresentam uma grande variabilidade espacial devido à heterogeneidade do solo, sendo a textura dos solos um dos fatores determinantes. Para Botula *et al.* (2014), a medição das propriedades hidráulicas do solo são demoradas e dispendiosas, e Schaap *et al.* (2001) complementa que existem diversos métodos experimentais para determinação das propriedades hidráulicas do solo, mas as funções de pedotransferência otimizam todo o processo.

Diversos estudos recentes vêm sendo publicados, Almeida *et al.* (2017), por exemplo, fez um estudo objetivando caracterizar a variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado utilizando métodos de laboratório com solos de diferentes volumes em Cruz das Almas (BA). Patil e Singh (2016) explicam que não existe uma função de pedotransferência global, devido as variações dos fatores de formação e pedogênese dos solos. Mas que apesar disso, existem algumas mais genéricas, calibradas e validadas para uma grande base de dados de tipos de solos, como o Rosetta.

Schifman e Shuster (2019) explicam que as funções de pedotransferência do Rosetta, desenvolvidas por Schaap *et al.* (2001) parametrizam a expressão para a condutividade insaturada de van Genuchten, que são baseadas na função de retenção de água de van Genuchten (1980) e no modelo de distribuição dos poros de Mualem (1976), e como resultado é possível estimar a condutividade hidráulica saturada e insaturada. Zhang e Schaap (2017) fizeram uma recalibração do modelo Rosetta de pedotransferência com estimativas mais aprimoradas de distribuição dos parâmetros hidráulicos e estatísticos, o que chamaram de Rosetta3, cujos resultados mostraram diminuição no erro quadrático médio e erro médio.

Hangen e Vieten (2018) fizeram uma comparação de cinco diferentes formas de determinar a

condutividade hidráulica saturada na Alemanha. Kirkham *et al.* (2019) utilizou a modelagem inversa para prever o movimento da água e do nitrato calculando parâmetros da equação de Mualem-van Genuchten, em um solo de argila estruturada. Shwetha e Prasanna (2018) estimaram a condutividade hidráulica saturada de um solo arenoso na Índia utilizando funções de pedotransferência.

De acordo com Shaap (1999), o *software* Rosetta é um programa que estima por um modelo matemático, comumente chamado de funções de pedotransferência, propriedades hidráulicas como: parâmetros de retenção de água de acordo com o modelo de van Genuchten (1980), condutividade hidráulica saturada e parâmetros da condutividade hidráulica insaturada de acordo com o modelo de van Genuchten (1980) e Mualem (1976).

A função de retenção de água, que relaciona a quantidade de água presente no solo com a força com que o solo a retém, no modelo de van Genuchten (1980) é dada pela Equação 1:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^{1-\frac{1}{n}}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,  $\theta(h)$  representa a curva de retenção de água, definindo a umidade  $\theta$  ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) como uma função de  $h$  (cm), que é a pressão de água no solo;  $\theta_r$  e  $\theta_s$  são respectivamente a umidade residual e a umidade saturada do solo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ),  $\alpha$  ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $m$  e  $n$  são parâmetros de ajuste da curva.

Esta equação ainda pode ser reescrita como a saturação relativa, conforme Equação 2, que é usada em conjunto com o modelo de distribuição de poros de Mualem (1976) para fornecer o modelo de Mualem-van Genuchten, onde  $K_0$  é o ponto de saturação (cm/dia), similar à condutividade hidráulica saturada  $K_S$ , conforme Equação 3.

$$S_e = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = [1 + (\alpha h)^n]^m \quad \text{Equação 2}$$

$$K(S_e) = K_0 * S_e^{-0,5} * \{1 - [1 - S_e^{-m}]^m\}^2 \quad \text{Equação 3}$$

Ferreira (1999) *apud* Freire *et al.* (2003) classifica a condutividade hidráulica em meio saturado em cm/h de acordo com a Tabela 1:



Tabela 1 - Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado.

CLASSIFICAÇÃO	INTERVALO (cm/h)
Muito rápida	> 25,00
Rápida	12,50 – 25,00
Moderadamente rápida	6,25 – 12,50
Moderada	2,00 – 6,25
Moderadamente lenta	0,50 – 2,00
Lenta	0,125 – 0,50
Muito Lenta	< 0,125

Fonte: Ferreira, 1999 *apud* Freire *et al.*, 2003.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

O trabalho foi realizado em 2 pontos pré-determinados da cidade de Macaé-RJ, sendo eles dentro do Instituto Federal Fluminense e da Cidade Universitária, com coordenadas 22°24'13"S 41°50'34"W e 22°23'18" S 41°48'26"W, respectivamente. Os pontos foram assim escolhidos por estarem dentro da cidade, possuírem visualmente características de solo diferentes, estarem em níveis diferentes com relação ao nível do mar (o primeiro ponto se localiza em uma parte mais alta da cidade e o segundo ponto se localiza em uma parte mais baixa da cidade), serem de fácil acesso e seguros para realização dos ensaios.

Em cada um desses pontos foi realizado o teste com o infiltrômetro de duplo anel para obtenção a taxa de infiltração de água no solo. Além disso, foi realizada a coleta de cerca de 2 kg (quilogramas) de cada tipo de solo nas superfícies, de forma a levar ao Laboratório de Mecânica dos Solos da UFRJ-Macaé, preparar as amostras e realizar o ensaio de análise granulométrica e ensaios complementares (teor de umidade e massa específica), necessários para obtenção das frações de areia, silte e argila, conforme NBR 7181/2016. E com esses dados foi possível obter valores de condutividade hidráulica saturada e demais parâmetros através do *software* Rosetta, que utiliza as equações de Van Genuchten-Mualem para tal determinação.

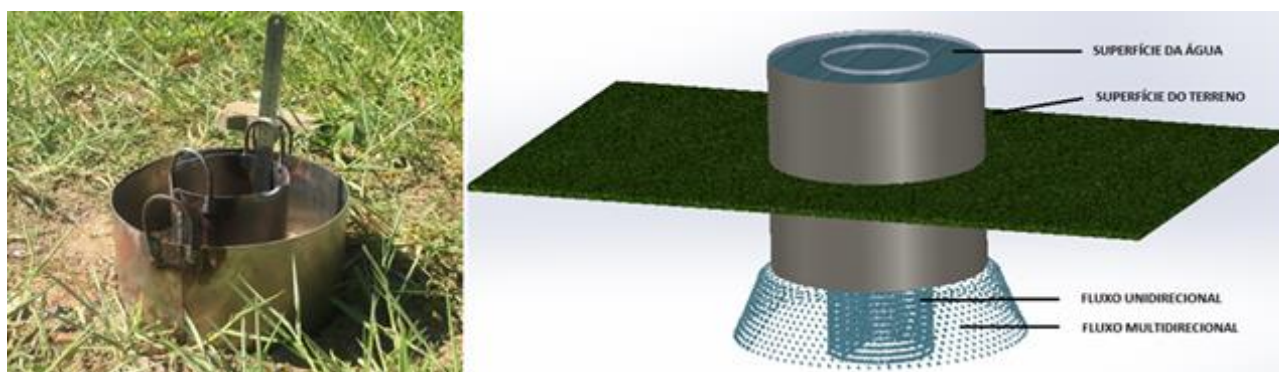
#### 3.1 Material e metodologia de trabalho com o infiltrômetro de duplo anel

O material utilizado no trabalho de campo foi todo o necessário para a realização do ensaio com o infiltrômetro de duplo anel. Apesar de não ter uma norma brasileira específica, existe uma norma americana equivalente, a qual foi utilizada como referência neste trabalho, além de referências bibliográficas relacionadas. Assim, elenca-se como material principal do trabalho de campo: dois cilindros com base inferior biseladas, feitos em aço carbono AWS 1010 com 1/16" de espessura, 30 e

15 cm de diâmetro, respectivamente e 30 cm de altura; galões de 5 litros; gps, régua graduada e cronômetro.

O método do infiltrômetro de duplo anel consiste na fincagem de dois cilindros abertos e concêntricos no solo, conforme Figura 3, cujo propósito do cilindro externo é de permitir que o fluxo de infiltração de água se mantenha unidimensional e do cilindro interno é de efetivamente medir diretamente a taxa de infiltração no solo, permitindo também outros cálculos indiretos.

Figura 3 - Infiltrômetro de duplo anel instalado no solo à esquerda; e ilustração do comportamento do fluxo de água durante o teste à direita.



Fonte: Autora, 2019.

Inicialmente, foi estudado em campo o melhor local para instalação dos infiltrômetros e então realizada a limpeza da área, retirando-se restos de folhas grosseiras e lixo, para que fosse feita a fincagem dos infiltrômetros no solo concentricamente. Em seguida foi verificado o nivelamento dos mesmos e a régua graduada foi colocada dentro do cilindro interno. Nesse momento, a instalação para o ensaio já está completamente montada, ficando somente no aguardo do início do mesmo.

Assim, com o equipamento já devidamente instalado, coloca-se água dentro do cilindro externo e em seguida dentro do cilindro interno, quando inicia-se a cronometragem do tempo. As tomadas de altura da coluna d'água se deram até que fosse verificada a infiltração de uma mesma quantidade de água em um mesmo intervalo de tempo. Além disso, todas as vezes que a infiltração de água passasse dos 5 cm no cilindro interno, o mesmo era reabastecido.

Após tais procedimentos, foi possível obter como resultado a infiltração acumulada e a velocidade de infiltração, calculada conforme a ASTM D3385-88.

### 3.2 Material e metodologia de trabalho na análise granulométrica

Antes de executar efetivamente o ensaio de análise granulométrica, é preciso realizar ensaios e procedimentos que fornecerão dados para os cálculos dos percentuais de cada fração de solo. Portanto, o material e método utilizado foram executados de acordo com cada um dos ensaios e procedimentos descritos pelas normas específicas, sendo neste caso: a preparação das amostras e o ensaio para obtenção do teor de umidade, seguindo os procedimentos descritos na NBR 6457/2016; e o ensaio de densidade real dos grãos, executado conforme DNER-ME 093/94.

Após essas preparações e ensaios iniciais foi realizado o ensaio de análise granulométrica, conforme os materiais e procedimentos da NBR 7181/2016, obedecendo a seguinte ordem: peneiramento grosso, sedimentação (com defloculante) e peneiramento fino, em seguida foi dado o prosseguimento com os cálculos.

### 3.3 Material e metodologia de trabalho com o *software* Rosetta

O material utilizado na análise dos dados obtidos pelo trabalho de campo e de laboratório foi um computador, o *software* Rosetta e uma máquina XP Virtual, para que o *software* pudesse ser instalado, visto que este funciona somente em versões 32 *bits*.

Para o *software* Rosetta foram utilizados como dados de entrada os resultados dos percentuais de areia, silte e argila obtidos no trabalho de laboratório pela análise granulométrica, e como dados de saída foi obtido os parâmetros da curva de retenção de van Genuchten e a condutividade hidráulica, que foram utilizados na etapa seguinte.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados obtidos do teste com infiltrômetro de duplo anel

Na Tabela 2 e na Figura 4 é possível visualizar os resultados obtidos pelo teste com o infiltrômetro de duplo anel no ponto 1, localizado dentro do IFF em Macaé-RJ.

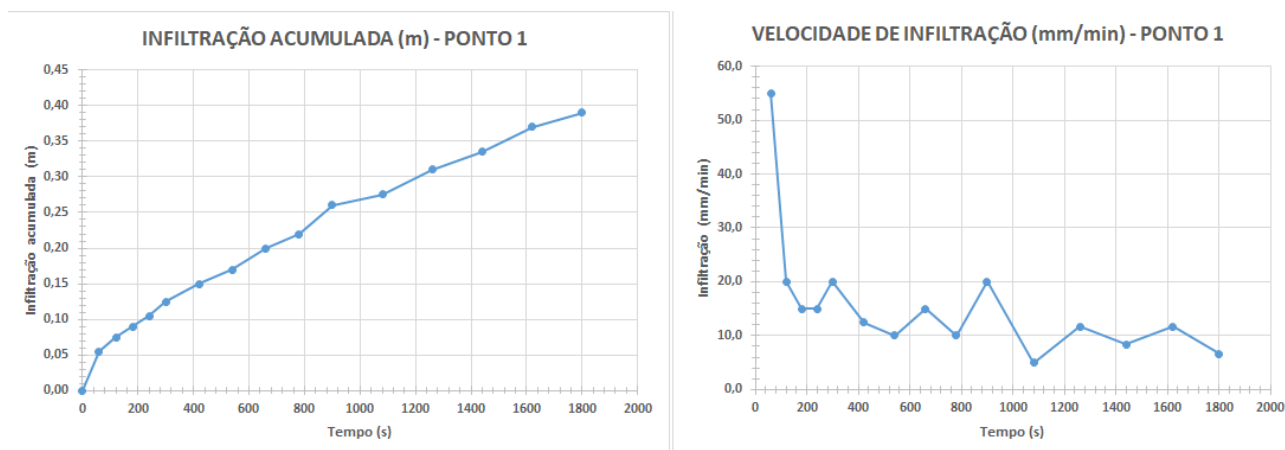
Tabela 2 - Resultados do teste com o infiltrômetro de duplo anel no ponto 1.

TEMPO ACUMULADO (min)	INFITRAÇÃO (m)	INFITRAÇÃO ACUMULADA (m)	VELOCIDADE DE INFILTRÇÃO (mm/min)
0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,06	55,00

2,00	1,00	0,08	20,00
3,00	2,00	0,09	15,00
4,00	3,00	0,11	15,00
5,00	4,00	0,13	20,00
7,00	5,00	0,15	12,50
9,00	7,00	0,17	10,00
11,00	9,00	0,20	15,00
13,00	11,00	0,22	10,00
15,00	13,00	0,26	20,00
18,00	15,00	0,28	5,00
21,00	18,00	0,31	11,67
24,00	21,00	0,34	8,33
27,00	24,00	0,37	11,67
30,00	27,00	0,39	6,67

Fonte: Autora, 2019.

Figura 4 - Infiltração acumulada (m) e velocidade de infiltração (mm/min), resultado do teste no Ponto 1.



Fonte: Autora, 2019.

Na Tabela 3 e na Figura 5, por sua vez, estão expostos os resultados obtidos pelo ensaio com o infiltrômetro de duplo anel no ponto 2, localizado dentro da cidade universitária em Macaé-RJ.

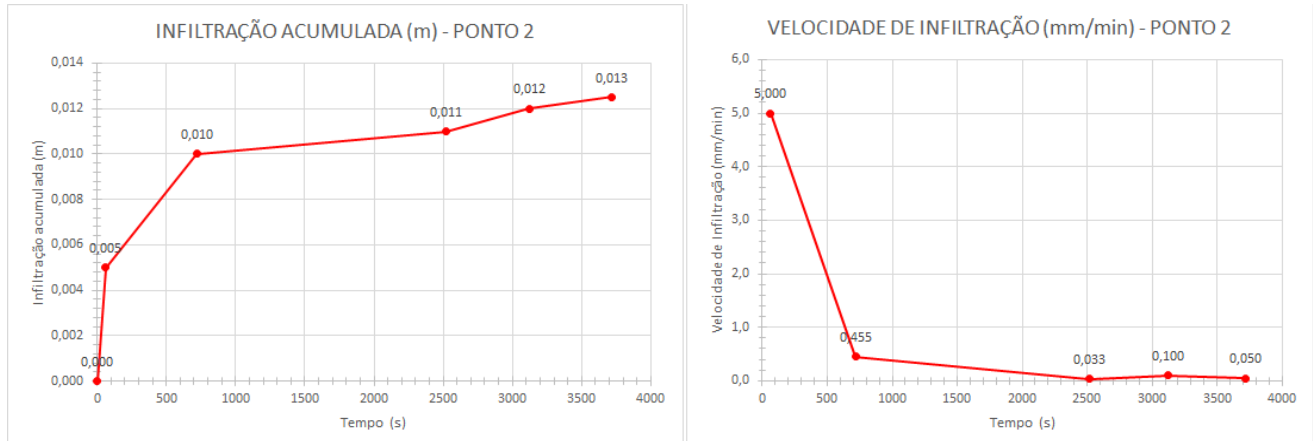
Tabela 3 - Resultados do teste com o infiltrômetro de duplo anel no ponto 2.

<b>TEMPO ACUMULADO (min)</b>	<b>INFILTRAÇÃO (m)</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA (m)</b>	<b>VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO (mm/min)</b>
0,00	0,000	0,000	0,000
1,00	0,005	0,005	5,000
12,00	0,005	0,010	0,455
42,00	0,001	0,011	0,033
52,00	0,001	0,012	0,100

62,00	0,001	0,013	0,050
-------	-------	-------	-------

Fonte: Autora, 2019.

Figura 5 - Infiltração acumulada (m) e velocidade de infiltração (mm/min), resultado do teste no Ponto 2.



Fonte: Autora, 2019.

Diante dos resultados para o Ponto 1 e Ponto 2, dentro do IFF e da Cidade Universitária, respectivamente, na cidade de Macaé, foi possível perceber uma diferença significativa entre ambos. O primeiro ponto apresenta cerca de 0,39 m de infiltração acumulada, enquanto o segundo somente 0,013 m. Considerando o diâmetro interno do infiltrômetro de duplo anel (0,15 m), temos um volume infiltrado em cerca de 0,11 m<sup>3</sup> no ponto 1 e em cerca de 0,004 m<sup>3</sup> no ponto 2.

Uma diferença significativa também pode ser observada com relação as velocidades de infiltração. O primeiro ponto apresenta uma velocidade de infiltração com um decaimento gradual a medida que acontece a saturação do solo, no qual todo o volume infiltrado relatado deste ponto apresentou um intervalo de cerca de 30 minutos. No ponto dois percebe-se que logo no início do ensaio o solo já não é capaz de absorver os volumes de água inseridos no infiltrômetro, os 0,013 m de água dependeram mais de 1 hora para que ocorresse essa infiltração. Podendo este ser um indício de que a capacidade de infiltração do solo do ponto 1 é superior ao do ponto 2 e/ou de que o solo possivelmente já se encontrava parcialmente saturado no dia do teste.

#### 4.2 Resultados obtidos dos ensaios da análise granulométrica e complementares

A Tabela 4 abaixo apresenta os resultados das análises feitas em laboratório, com o objetivo principal de determinar os percentuais granulométricos do solo.

Tabela 4 - Resultados obtidos nos ensaios de laboratório

MÉTODO DE TRABALHO	PARÂMETRO	UNIDADE	PONTO 1	PONTO 2
			IFF	CIDADE UNIVERSITÁRIA
LABORATÓRIO	Teor de umidade	%	1,10	1,27
	Densidade dos grãos	gf/cm <sup>3</sup>	2,61	2,70
	Pedregulho	%	3,36	4,48
	Areia	%	79,98	45,80
	Silte	%	7,91	10,98
	Argila	%	8,75	38,74

Fonte: Autora, 2019.

Os resultados de teor de umidade e densidade dos grãos são parâmetros do solo necessários para que após a realização do ensaio de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, seja possível proceder com os cálculos dos percentuais granulométricos.

Os resultados dos percentuais mostram que em termos de frações granulométricas, os dois pontos apresentam características muito diferentes. O solo no ponto 1 é caracterizado como sendo 79,98% areia, enquanto no solo 2 aproximadamente 45,80%. Outra grande diferença a ser observada é com relação aos percentuais de argila, sendo 8,75% no ponto 1 e 38,74% no ponto 2.

Através dos resultados obtidos no laboratório para os percentuais de pedregulho, areia, silte e argila é possível confirmar que não somente na questão da infiltrabilidade, mas também que os dois solos analisados possuem características granulométricas muito diferentes, e que apesar de esse não ser o único motivo, contribuem consideravelmente para a diferença dos resultados obtidos com o teste do infiltrômetro de duplo anel.

### 4.3 Resultados obtidos do *software* Rosetta

A Tabela 5 abaixo apresenta os resultados obtidos do *software* Rosetta utilizando os resultados dos percentuais granulométricos como dados de entradas.

Tabela 5 - Resultados obtidos do software Rosetta.

PARÂMETROS	UNIDADES	PONTO 1 (IFF)	PONTO 2 (CIDADE UNIVERSITÁRIA)
Umidade residual ( $\theta_r$ )	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,0501 ± 0,0041	0,0808 ± 0,0113

Umidade saturada ( $\theta_s$ )	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,3774 ± 0,0053	0,4051 ± 0,0100
Parâmetro de ajuste ( $\alpha$ )	log10 (1/cm)	-1,4735 ± 0,0356	-1,5584 ± 0,1053
Parâmetro de ajuste (n)	log10	0,2526 ± 0,0116	0,0917 ± 0,0179
Condutividade hidráulica saturada (Ks)	log10 (cm/dia)	2,0513 ± 0,0722	1,1108 ± 0,1885
Ponto de saturação (Ko)	log10 (cm/dia)	1,3357 ± 0,2424	0,8468 ± 0,2726
Tortuosidade (L)	-	-0,8979 ± 0,6092	-2,4626 ± 1,3846

Fonte: Autora, 2019.

Os valores dos parâmetros obtidos pelo *software* Rosetta para os dois solos em estudo também se apresentam de forma bem diferentes. Destaca-se a diferença dos valores relativos ao ponto de saturação, que convertendo os valores de *output* do programa de log10 cm/dia em cm/h, teremos 4,69 cm/h e 0,54 cm/h, respectivamente para o Ponto 1 e Ponto 2. Assim, baseando-se na classificação da condutividade hidráulica em meio saturado de Ferreira (1999) *apud* Freire *et al.* (2003), podemos classificar a condutividade hidráulica saturada do Ponto 1 (IFF) como moderada e do Ponto 2 (Cidade Universitária) como moderadamente lenta, sendo conveniente observar que o valor é muito próximo do limite de classificação como lenta.

## 5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados encontrados no teste com o infiltrômetro de duplo anel, nas análises da granulometria dos solos e no *software* Rosetta é perceptível a diferença dos dois solos analisados neste trabalho. Enquanto o solo do Ponto 1 apresenta uma melhor infiltrabilidade, maior percentual de areia e maior condutividade hidráulica em meio saturado, o ponto 2 mostra-se pouco infiltrável, com menor percentual de areia e uma condutividade hidráulica em meio saturado muito inferior.

O processo de infiltração, bem como a percolação contribuem positivamente para a solução dos problemas com alagamentos e inundações, no entanto os resultados do estudo nesta localidade mostram indícios de que esses são processos lentos, que necessitam de ações complementares. Esses resultados mostram principalmente a importância de que as tratativas para os problemas de alagamentos e inundações que incorporam as soluções de drenagem urbana, considerem as características locais individuais, visto que dentro de uma mesma cidade é possível que os solos apresentem características muito diferentes.

Além disso, como percebe-se que o solo mais frequente na cidade possui características visualmente parecidas ao solo analisado no Ponto 2, é preciso cautela com as obrigatoriedades legais

e tentativas de minimizar e/ou resolver questões de drenagem urbana somente levando em consideração o fenômeno da infiltração devido à lentidão do processo neste tipo de solo.

Diante do exposto, sugere-se que novos estudos sejam feitos com o objetivo de analisar a eficiência da utilização de técnicas e dispositivos de drenagem auxiliares à drenagem tradicional, tanto na região urbana como na região rural, de forma a complementar o sistema de drenagem. Se comprovada a eficiência, é possível até mesmo que as legislações existentes baseadas apenas no fenômeno de infiltração possuam certa flexibilidade a depender do local a serem implementadas, e/ou sejam complementadas para que se adequem as características regionais do solo.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, K. S. S. T. A.; SOUZA, L. S.; PAZ, V. P. S.; SILVA, F. T. S.; SANTOS, D. N.; PEREIRA, J. S. L. **Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em latossolo amarelo distrocoeso, no município de Cruz das Almas**. Irriga, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 259-274, 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: **Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: **Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

BOTULA, Y.; RANST, E. V.; CORNELIS, W. M. **Pedotransfer functions to predict water retention for soils of the humid tropics: a review**. R. Bras. Ci. Solo, v. 38, p. 679-698, 2014.

CHAMPATIRAY, A. **Experimental study for determination of infiltration rate of soils in fields using double ring infiltrometer**. Master of Technology in Civil Engineering (Water Resources Engineering). Department of Civil Engineering National Institute of Technology Rourkella Orissa. India, 2014.

CRUZ, M. A. S.; SANTOS, L. T. S. O.; LIMA, L. G. L. M. L.; JESUS, T. B. **Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos como suporte para análise da contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA)**. Geochimica Brasiliensis v. 27(1): 49-62. 2013.

DEXTER, A. R. **Soil Physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth**. Geoderma, v. 120, p. 201-214, 2004.



- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 221 p. 1997.
- FATEHNIYA, M.; TAWFIQ, K.; YE, M. **Estimation of saturated hydraulic conductivity from double-ring infiltrometer measurements**. European Journal of Soil Science, pág. 135-147. 2016.
- FREIRE, M. B. dos S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H. V.; FREIRE, F. J. **Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2003.
- HANGEN, E.; VIETEN, F. **A Comparison of Five Different Techniques to Determine Hydraulic Conductivity of a Riparian Soil in North Bavaria, Germany**. Pedosphere, v. 28(3), p. 443-450, 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População residente e domicílios – 1980/2010**. Disponível em: < <https://ww2.ibge.gov.br/downloads/folders/eleicao2016/33/3302403.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2019.
- KIRKHAM, J. M.; SMITH, C. J.; DOYLE, R. B.; BROWN, P. H. **Inverse modelling for predicting both water and nitrate movement in a structured-clay soil (Red Ferrosol)**. PeerJ, 6:e6002. 2019.
- KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; VEIGA, M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. **Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 850-853, 2013.
- KOZLOWSKI, M.; KOMISAREK, J. **Analysis of the suitability of Polish soil texture classification for estimating soil water retention and hydraulic properties**. SOIL SCIENCE ANNUAL, v. 68, n. 4, p. 197-204, 2017.
- LI, D.; GAO, G.; SHAO, M.; FU, B. **Predicting available water of soil from particle-size distribution and bulk density in na oasis-desert transect in northwestern China**. Journal of Hydrology, v. 538, p. 539-550, 2016.
- MUALEM, Y. **A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media**. Water Resour. Res, v. 12(3), p. 513-522, 1976.
- NESTINGEN, R. P. E.; ASLESON, B. C.; GULLIVER, J. S. F.; HOZALSKI, R. M.; NIEBER, J. L. **Laboratory Comparison of Field Infiltrimeters**. J. Sustainable Water Built Environ. 2018.
- PREFEITURA DE MACAÉ. **Capital Nacional do Petróleo**. Disponível em: <<http://www.macaee.rj.gov.br/cidade/conteudo/titulo/capital-nacional-do-petroleo>>. Acesso em: 27 fev 2019.
- PATIL, N. G.; SINGH, S. K. **Pedotransfer Functions for Estimating Soil Hydraulic Properties: A Review**. Pedotranphere, v. 26(4), p. 417-430, 2016.
- PINTO. C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª Edição. Oficina de Textos. São

Paulo, 2006.

PINTO, N. L. DE S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 15ª Reimpressão. Editora Edgar Blucher. 2014.

RAMOS, T.; GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PIRES, F.; PEREIRA, L. S. **Propriedades hidráulicas do solo para diferentes classes texturais**. *Revista de ciências agrárias*. v. XXXIV, p. 252-264, 2011.

SCHAAP, M. G. **Rosetta**. 1999. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/20360500/software/141/rosetta.pdf>>. Acesso em 27 fev 2019.

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J.; GENICHTEN, M. T. V. **ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions**. *Journal of Hydrology*. Riverside, v. 251, p. 163-176, 2001.

SHWETHA, P.; PRASANNA, K. **Pedotransfer Functions for the Estimations of Saturated Hydraulic Conductivity for Some Indian Sandy Soils**. *Eurasian Soil Science*, v. 51, n.9, p. 1042-1049. 2018.

SCHIFMAN, L. A.; SHUSTER, W. D. **Comparison of Measured and Simulated Urban Soil Hydrologic Properties**. *J. Hydrol. Eng.*, v. 24(1), 2019.

SOFFIATI, A. A. **Macaé em Quatro Tempos. (Oficina sobre impactos sociais, ambientais e urbanas das atividades petrolíferas: o caso de Macaé)**. 2011. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/24907877-Macae-em-quatro-tempos-arthur-soffiati.html>>. Acesso em 27 fev 2019.

STÜRNER, S. L. K.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A.C.; PEDRON, F. A.; MENEZES, F. P. **Relação da granulometria do solo e morfologia do saprólito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul**. *Ciência Rural*, Santa Maria. v. 39, n. 7, p.2057-2064, 2009.

VAND, A. S.; SIHAG, P.; SINGH, B.; ZAND, M. **Comparative Evaluation of Infiltration Models**. *KSCCE Journal of Civil Engineering*. 2018.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora McGraw-Hill. São Paulo, 1975.

ZHANG, Y.; SCHAAP, M. G. **Weighted recalibration of the Rosetta pedotransfer model with improved estimates of hydraulic parameter distributions and summary statistics (Rosetta3)**. *Journal of Hydrology*, v. 547, p. 39-53, 2017.