



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO**  
**SUSTENTÁVEL**

**REGIOVILSON ANGELO DA SILVA**

**ANÁLISE DO EMPREGO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM**  
**RETROÁREA PORTUÁRIA**

**VITÓRIA-ES**

**2019**

REGIOVILSON ANGELO DA SILVA

**ANÁLISE DO EMPREGO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM  
RETROÁREA PORTUÁRIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, na área de concentração de Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rigo

VITÓRIA-ES

2019

REGIOVILSON ANGELO DA SILVA

**ANÁLISE DO EMPREGO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM  
RETROÁREA PORTUÁRIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, na área de concentração de Saneamento Ambiental.

Aprovado em \_\_\_\_\_ de novembro de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Daniel Rigo

Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador

---

Prof. José Antônio Tosta dos Reis

Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Edumar Ramos Cabral Coelho

Universidade Federal do Espírito Santo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha esposa, Luciene, pelo apoio nessa empreitada. Agradeço à minha família pela compreensão devido as ausências.

Agradeço à equipe Lugare Engenharia pela parceria, ao Município de Presidente Kennedy por fornecer os dados referentes ao Plano Diretor Municipal - PDM.

Agradeço ao professor Daniel Rigo pela orientação e as sugestões.

Obrigado ao Professor Diogo Costa Buarque pelas considerações na qualificação.

Agraço a Professora Edumar Ramos Cabral Coelho por ceder seu tempo e participar tanto da qualificação quanto na análise final do trabalho. Ao Professor José Antônio Tosta dos Reis agradeço pelo tempo cedido para a participação da banca.

*“Ciência é conhecimento organizado. Sabedoria é vida organizada.”*

*(Immanuel Kant)*

## RESUMO

O estudo tratou do processo de urbanização de bacias hidrográficas por influência da implantação de um porto e sua retroárea e o impacto da urbanização no uso e ocupação do solo e consequente influência no fluxo de escoamento das bacias. Para amortecimento do crescimento das vazões foram utilizadas técnicas compensatórias de drenagem: pavimento permeável e reservatório de retenção com barragem de terra. Os períodos de retorno considerados foram de 15 e 25 anos, considerando as bacias em situação atual, totalmente urbanizadas e parcialmente urbanizadas. Após as simulações hidrológicas, foram analisadas economicamente as técnicas compensatórias de drenagem considerando a bacia toda urbanizada. Os resultados obtidos demonstraram o crescimento do Curve Number (CN) a partir do processo de urbanização das bacias e demonstraram a eficiência dos sistemas de drenagem, reduzindo entre 30 a 50% do fluxo de escoamento quando comparados com o fluxo de escoamento com urbanização não contemplando as técnicas compensatórias. A análise econômica demonstrou que a utilização da barragem de terra como reservatório de retenção associado ao pavimento tradicional possui um custo menor comparado ao custo de implantação do pavimento permeável, devido principalmente as características físicas das bacias. Evidenciou-se também a participação nos custos quanto a origem: Público e Privado.

**Palavras-chave:** Urbanização. Retroárea. Técnicas Compensatórias de drenagem. Pavimento Permeável. Reservatório de Detenção.

## ABSTRACT

The study analyzed the direct impact urbanization has on river basins and the flow of the basins; specifically, due to the installation of a port and the retroarea. Compensatory drainage techniques were used for slowing flow growth: permeable floor VS a holding reservoir with an earth dam. The analysis considered the last 15 to 25 years, considering the basins in its current situation, totally urbanized and partially urbanized. After the hydrological simulations, the compensatory drainage techniques were economically analyzed considering the basins current urbanized status. The results obtained from the urbanization of the basins, demonstrated the growth of the Curve Number (CN) while the drainage systems efficiencies lowered the Curve Number (CN) between 30 and 50% of the basins flow when compared to the urbanized basins flow (without considering the compensatory techniques). Economic analysis has shown that the use of a land dam (as a holding reservoir) rather than the traditional floor has a lower cost compared to installing the permeable floor, mainly due to the physical characteristics of the basins. It has also been highlighted the cost participation as to the origin: Public and Private.

**Keywords:** Urbanization. Retroarea. Compensatory drainage techniques. Permeable flooring. Detention Reservoir.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Simulação de Vazões com Cenários de Urbanização (Bacia do Mineirinho) .....	20
Figura 2 - Plano Estratégico para Alocação de Medidas Estruturais .....	28
Figura 3 – Acréscimo, Integração e Sofisticação do Sistema de Drenagem – Evolução ao longo do Tempo.....	29
Figura 4 - Pavimento de Blocos de Concreto .....	34
Figura 5 - Pavimento de Blocos de Concreto Vazado.....	34
Figura 6 - Pavimento Permeável Asfáltico.....	34
Figura 7 - Pavimento Poroso de Concreto.....	34
Figura 8 - Foto da Área da Bacia do Córrego do Arroz .....	50
Figura 9 - Foto da Área da Bacia do Córrego do Arroz .....	50
Figura 10 - Macrozonas do Município de Presidente Kennedy .....	17
Figura 11 - Mapa de Localização do Porto Central.....	19
Figura 12 - Layout de Implantação do Porto Central .....	20
Figura 13 - Localização das Estações Pluviométricas.....	23
Figura 14 - Modelo Digital de Elevação (MDE) da Bacia .....	25
Figura 15 – Uso e ocupação do solo nas Macrozonas por Sub-bacia.....	26
Figura 16 - Podologia da Bacia .....	28
Figura 17 - Estrutura Típica de Pavimentação .....	29
Figura 18 - Estrutura do Pavimento Permeável.....	30
Figura 19 - Posição Barramento .....	31
Figura 20 - Cenários de Simulação .....	32
Figura 21 - Bacias Modeladas no HEC-HMS .....	33
Figura 22 - Seção Típica de Barramento .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de Transição de Múltiplos Passos no Período entre 2013 e 2024.....	25
Tabela 2 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.....	36
Tabela 3 - Relação de alturas Pluviométricas de 24h e de 1 dia .....	42
Tabela 4 - Relações entre Alturas Pluviométricas.....	43
Tabela 5 - CN para Pavimentos Permeáveis .....	48
Tabela 6 - Condições de Cota x Volume Acumulado para o Barramento .....	30
Tabela 7 - Uso e Ocupação do Solo após 100% Urbanização.....	38
Tabela 8 - Uso e Ocupação do Solo após 10 anos Implantação do Porto Central.....	39
Tabela 9 - Custos e Características Barragens de Terra .....	41
Tabela 10 - Valores de CN considerados nas simulações hidrológicas .....	42
Tabela 11 - Variação do CN - Cenários 02 e 03 comparados com Cenário 01.....	42
Tabela 12 - Variação da Vazão - Comparação Cenário 02 e Cenário 01 .....	45
Tabela 13 - Custo de Execução do Barramento .....	49
Tabela 14 - Custos Pavimentação - Tradicional e Permeável .....	49
Tabela 15 - Comparação de Custos de Implantação.....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cenários de Uso e Ocupação do Solo .....	24
Quadro 2 - Fluxograma das Medidas de Contenção de Cheias .....	26
Quadro 3 - Medidas Não Estruturais de Controle de Cheias.....	27
Quadro 4 - Medidas Estruturais para controle de cheias .....	28
Quadro 5 - Lista de Medidas de Controle Básicas .....	31
Quadro 6 - Critérios para Tomadas de Decisão do Sistema de drenagem .....	32
Quadro 7 - Sistemas de Infiltração dos Pavimentos Permeáveis.....	35
Quadro 8 - Equações Tempo de Concentração .....	39
Quadro 9 - Número de CN .....	45
Quadro 10 - Valores de CN para bacias Urbanas e Suburbanas .....	47
Quadro 11 - Estações Pluviométricas.....	22
Quadro 12 - Uso e Ocupação do Solo das Bacias por Macrozona .....	27
Quadro 13 - Condições de Urbanização de acordo com o PDM.....	33
Quadro 14 - Macrozonas e Condições das Áreas .....	35
Quadro 15 - Processo de Urbanização da Bacia por Macrozona .....	36
Quadro 16 - Processo de Urbanização da sub-bacia 01 por Macrozona .....	36
Quadro 17 - Formulação Análise Econômica.....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação do CN – Comparação do Cenário 02 e 01 .....	43
Gráfico 2 - Variação do CN – Comparação do Cenário 03 e 01 .....	44
Gráfico 3 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 02 e - Sub-bacia 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos .....	45
Gráfico 4 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 02 – Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos .....	46
Gráfico 5 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 03 - Sub-bacia 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos .....	46
Gráfico 6 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 03 – Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos .....	47
Gráfico 7 - Altura de Barramento com a variação de urbanização e Período de Retorno.....	47
Gráfico 8 - Hidrogramas Cenário 02 Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos..	48
Gráfico 9 - Hidrogramas Cenário 03 Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos..	48
Gráfico 10 - Médias mensais de Precipitação das Estações Pluviométricas .....	61
Gráfico 11 - Média dos dias de Chuvas das Estações Pluviométricas .....	61
Gráfico 12 - Máximas Precipitações Anuais .....	62
Gráfico 13 – Frequência x Intensidade x Duração .....	63

## LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

BMP - Best Management Practice

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CN - Curve Number

DER-ES - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo

DF - Distrito Federal

DNOS - Departamento Nacional de Obras de Saneamento

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

ESRI - Environmental Systems Research Institute

GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo

GI - Green Infrastructure

HEC - Hydrologic Engineering Center

HMS - Hydrologic Modeling System

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

LID - Low Impact Developmnet

MDE - Modelo Digital de Elevação

NBR - Norma Brasileira

PD - Plano Diretor

PDDU - Plano Diretor de Drenagem Urbana

PDM – Plano Diretor Municipal

PGO – Plano Geral de Outorgas

PMPK - Prefeitura Municipal de Presidente Kennedy

PP - Pavimento Permeável

SCS - Soil Conservation Service

SEAG - Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca

SIG - Sistema de informação geográfica

SUDS - Sistema de Drenagem Urbana Sustentável

VMD - Volume Médio Diário

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
3.1	ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUA IMPORTÂNCIA NA HIDROLOGIA ....	19
3.2	RELAÇÃO PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS E DRENAGEM URBANA .....	21
3.3	PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DA RETROÁREA DE PORTOS .....	23
3.4	DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES.....	25
3.4.1	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS .....	26
3.5.2	MEDIDAS ESTRUTURAIS.....	27
3.5.3	SISTEMA DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	29
3.5	PAVIMENTO PERMEÁVEL .....	33
3.6	BACIAS DE AMORTECIMENTO .....	37
3.7	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO .....	39
3.8	CHUVA DE PROJETO .....	40
3.9	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA .....	43
3.10	SOFTWARE HEC-HMS.....	48
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>50</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	50
4.2	PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE PRESIDENTE KENNEDY .....	16
4.3	PORTO CENTRAL.....	18
4.4	PRECIPITAÇÃO .....	22
4.5	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS .....	23

4.6	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO .....	29
4.7	CONFORMAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	33
4.8	ANÁLISE ECONÔMICA.....	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
5.1	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	42
5.2	RESULTADOS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA .....	44
5.2.1	PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	44
5.2.2	BARRAGEM DE DETENÇÃO .....	47
5.3	AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A urbanização das cidades tende a ser a maior causa na mudança do escoamento das águas superficiais. As intervenções realizadas pelo homem diminuem a capacidade de absorção do solo e a interceptação pela vegetação das águas de chuva, o que resulta em uma menor infiltração de água no solo e um aumento da velocidade de escoamento das águas superficiais e, conseqüentemente, na redução do tempo de concentração em uma bacia hidrográfica (WALSH et al., 2012; ZOPE et al., 2015).

Dentre vários fatores que alteram o ambiente hidrológico, pode-se mencionar a implantação de empreendimentos de grande porte, tais como portos, grandes indústrias e pátios de estocagem, que são impactantes não só na sua área de ocupação, bem como no entorno do seu posicionamento. Como esses grandes empreendimentos são polos geradores de empregos, serviços e tráfego, a vizinhança do empreendimento será ocupada por diversas atividades associadas ou não à sua atividade fim e as alterações no ambiente se tornam inevitáveis.

O processo de modificação da forma que uma área é ocupada engloba vários grupos de atores: o empreendedor que elabora o projeto de implantação do empreendimento, os órgãos públicos que devem analisar, aprovar e descrever as condicionantes necessárias à implantação do empreendimento, a população que deve ser consultada e informada sobre as alterações decorrentes na ocupação e, por fim, o usuário final do empreendimento.

Os sistemas de drenagem urbana são utilizados para atenuar as conseqüências das mudanças do ambiente, tendo suas soluções tradicionais caracterizadas pelo desenvolvimento de sistemas de drenagem de coleta e desague das águas pluviais. A metodologia tradicional ao longo dos anos vem sendo substituída por modelos de gestão das águas pluviais aliados a tecnologias de desenvolvimento de drenagem de baixo impacto. Assim, a utilização desses mecanismos no processo de urbanização mitiga os impactos gerados pelas fortes chuvas, trabalhando na redução do escoamento superficial e priorizando os escoamentos subsuperficiais e subterrâneos (BELL et al., 2016; HAMEL et al., 2013; TUCCI, 2003).

O adequado desenvolvimento de sistemas de drenagem necessita de dados históricos da hidrologia da região, porém, a escassez desses dados, principalmente dados fluviométricos, impõe a necessidade de se utilizar o processo de transformação chuva-vazão, o qual pode ser realizado por meio de modelos de simulação hidrológica. A base desses modelos são as informações de precipitação e as características físicas das bacias, tais como declividade, uso e ocupação do solo, rede de drenagem, entre outros. Portanto, os impactos causados pela reconfiguração no uso e ocupação da bacia são de suma importância em sua hidrologia.

Destaca-se que a urbanização decorrida da retroárea portuária, área adjacente ao porto que é utilizada para auxiliar a área de armazenamento do porto, e a área portuária impactam diretamente no comportamento hidrológico de uma bacia, pois realizam mudanças no uso e ocupação do solo. Essas mudanças devem ser no mínimo atenuadas para não afetar as áreas localizadas à montante e a jusante do local de implantação do fato gerador de alterações no comportamento hidrológico. A utilização de sistemas sustentáveis de drenagem atua no processo de reduzir os efeitos dessas mudanças na vazão de pico de cheia.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar sistemas de drenagem sustentável através da utilização de técnicas compensatórias de drenagem – Pavimento Permeável e Barragem de Detenção - aplicado à retroárea portuária.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Criar cenários de mudanças do uso e ocupação solo devido à implantação do Porto Central e urbanização da retroárea do porto;
- ✓ Estimar e comparar as vazões máximas para cada cenário estabelecido;
- ✓ Avaliar economicamente as alternativas de técnicas compensatórias de drenagem modeladas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fim de contextualizar os assuntos teóricos, o capítulo de revisão bibliográfica busca discorrer sobre o tema proposto neste trabalho.

#### 3.1 ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUA IMPORTÂNCIA NA HIDROLOGIA

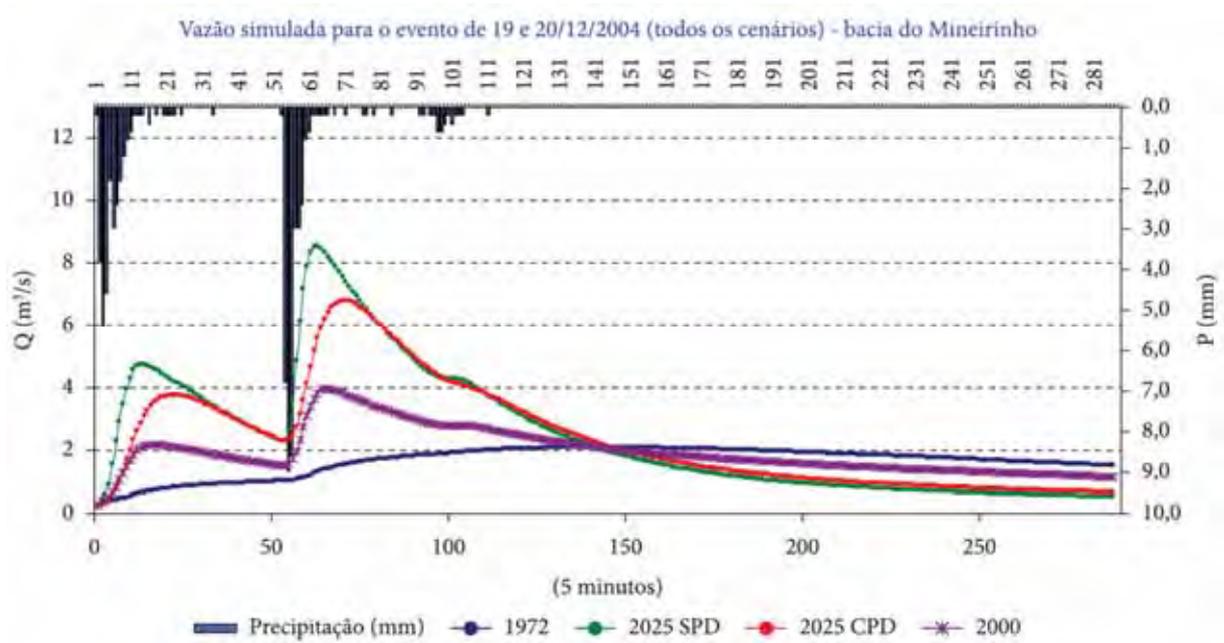
A mudança de uso e ocupação do solo reflete direta e proporcionalmente em alterações do regime hidrológico da região, pois quando se urbaniza um local, as variações no escoamento, infiltração, evapotranspiração e interceptação se tornam mais claras, levando à deterioração do sistema hídrico. As mudanças ocorrem tanto de forma espacial quanto de forma temporal (SURIYA; MUDGAL, 2012).

O crescimento da mancha urbana nas regiões devido à migração de pessoas atrás de emprego e o desenvolvimento intrínseco a essa migração resulta na mudança de paradigma da região, pois novas necessidades são implementadas, como o aumento das atividades comerciais, industriais, educação, transportes, entre outras. Essa mudança de paradigma resulta em mudanças no uso e ocupação da terra (ZOPE et al., 2015).

As alterações de uso e ocupação decorridas do processo de urbanização incorre no aumento do pico de vazão de cheia e reduz o tempo de concentração, provocando modificações no comportamento hidrológico das bacias. Beskow, Norton e Mello (2013) elaboraram um estudo onde analisavam o impacto da mudança do uso do solo através da mudança de comportamento do hidrograma para vazões máximas, médias e mínimas, e identificaram que os cenários utilizados impactaram em mudança nas vazões.

Benini e Mendiondo (2015) realizaram em seu estudo simulações de vazões de cheia para o Rio Mineirinho, no estado de São Paulo com variações do uso e ocupação do solo com a criação de um novo Campus para a Universidade de São Paulo, conforme demonstrado na Figura . As condições de cenários foram: Pré-urbanizada; Urbanização em 2000; Urbanização 2025 sem PDM; Urbanização 2025 com PDM.

Figura 1 - Simulação de Vazões com Cenários de Urbanização (Bacia do Mineirinho)



SPD – SEM PLANO DIRETOR / CPD – COM PLANO DIRETOR

Fonte: Benini e Mendiondo (2015).

O resultado obtido pelos autores demonstra que o aumento do pico de descargas aumenta com o processo de urbanização e no caso do processo de urbanização sem critérios definidos pelo Plano Diretor Municipal (PDM) o crescimento da vazão mais perceptível.

O aumento da ocupação de áreas pelo homem, seja para moradias, indústrias, áreas comerciais não implicam em mudanças no regime hidrológico somente nas bacias hidrológicas continentais, as bacias hidrológicas localizadas em zonas costeiras também são influenciadas pelas mudanças antropológicas realizadas.

Veloso-Gomes e Taveira-Pinto (2003) salientam em seu estudo que as zonas costeiras apresentam diversos problemas decorridos da mudança do uso da terra, os quais são resultado da ocupação urbana e industrial, acessibilidade (portos, rodovias), uso recreativo e pesca. Dentre os principais impactos identificados pelos autores, podem ser citados os seguintes:

- ✓ Deterioração da qualidade da água e sedimentos;
- ✓ Alteração e degradação dos habitats naturais;
- ✓ Novas situações hidrodinâmicas;
- ✓ Mudanças importantes na paisagem;

- ✓ Mudanças rápidas nos hábitos e no modo de vida das populações e aumento da exposição das populações e ativos para riscos naturais e induzidos (tempestades, acidentes, derramamentos, explosões).

O uso do litoral para o desenvolvimento de uma atividade portuária é determinante em alterações no uso e ocupação do solo no local dessa atividade, assim como em seus arredores. Essas alterações são vistas em diversas fases dos portos, mas a fase de implantação se mostra a mais importante a ser analisada em termos de escolha e projeto dos sistemas de drenagem, pois na fase de implantação há modificações com a mobilização para a construção do porto, pois a inserção de pilhas de materiais, aterros, escavações, movimentação de máquinas e trabalhadores resultam na mudança no uso e ocupação dos solos, gerando barreiras que alteram o sistema de drenagem existente no local. Assim, ao término da atividade de construção, as mudanças no uso e ocupação do solo serão expressivas devido à magnitude da intervenção realizada na região (TURRA et al., 2017; QUINTO JUNIOR; COUTINHO, 2011).

### 3.2 RELAÇÃO PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS E DRENAGEM URBANA

Dentre as diretrizes gerais de política urbana estabelecidas pela lei federal nº 10257/2001(Brasil), foi estabelecida a criação do plano diretor municipal para as cidades que se enquadrassem no artigo 41 da referida lei.

*Art. 41. O plano diretor é obrigatório para cidades:*

*I – com mais de vinte mil habitantes;*

*II – integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas;*

*III – onde o Poder Público municipal pretenda utilizar os instrumentos previstos no § 4o do art. 182 da Constituição Federal;*

*IV – integrantes de áreas de especial interesse turístico;*

*V – inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional.*

*VI - incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. (Incluído pela Lei nº 12.608, de 2012)*

*§ 1º No caso da realização de empreendimentos ou atividades enquadrados no inciso V do caput, os recursos técnicos e financeiros para a elaboração do plano diretor estarão inseridos entre as medidas de compensação adotadas.*

*§ 2º No caso de cidades com mais de quinhentos mil habitantes, deverá ser elaborado um plano de transporte urbano integrado, compatível com o plano diretor ou nele inserido.*

*§ 3º As cidades de que trata o caput deste artigo devem elaborar plano de rotas acessíveis, compatível com o plano diretor no qual está inserido, que disponha sobre os passeios públicos a serem implantados ou reformados pelo poder público, com vistas a garantir acessibilidade da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida a todas as rotas e vias existentes, inclusive as que concentrem os focos geradores de maior circulação de pedestres, como os órgãos públicos e os locais de prestação de serviços públicos e privados de saúde, educação, assistência social, esporte, cultura, correios e telégrafos,*

*bancos, entre outros, sempre que possível de maneira integrada com os sistemas de transporte coletivo de passageiros.*

O plano diretor municipal (PDM), tem por intuito principal definir as políticas urbanas a serem implantadas no município através do seu ordenamento municipal e uso e ocupação do solo, sendo que o próprio PDM estabelece os critérios para verificação do cumprimento da função social, ambiental e econômica da propriedade, tendo que as condições ambientais devem ser consideradas tanto no meio natural quanto no meio antrópico. (MORUZZI; BRAGA; CUNHA, 2009; PERES; DA SILVA, 2013).

O planejamento urbano compreende que a mudança de uso e ocupação do solo tem origem no comportamento histórico, cultural, social e econômico dos aglomerados urbanos, sendo que o comportamento é mutável ao longo do tempo, portanto os planos diretores devem estar sujeitos aos processos de formulação, implementação e avaliação pela administração pública e pela sociedade. (SERAFIM; RICCI; 2017).

O gerenciamento de drenagem urbana deve estar alocado no desenvolvimento do PDM, pois apesar do município não legislar sobre os recursos hídricos, os gestores municipais não devem enxergar o município apenas como usuário dos recursos hídricos, uma vez que através do PDM podem estabelecer metas e critérios para melhoria da drenagem e qualidade das águas, assim como fornecer dados para o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (PIZELLA, 2015). As regulamentações impostas no PDM - tais como o uso e ocupação do solo, saneamento básico, gerenciamento dos resíduos sólidos, áreas de preservação ambiental, dentre outros – irão impactar nas condições de entorno do sistema de drenagem. Moruzzi, Braga e Cunha (2009), descreveram em seu trabalho que a drenagem urbana deve ser incluída no PDM através de avaliações sobre três categorias principais: Curso d'água ambiental, as áreas de preservação permanente e vertentes das microbracias, Tucci (1997) indicou que o PDM deveria incorporar o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) e que no caso de macrodrenagem urbana deveria conter três princípios básicos: i) elaboração de nível de anteprojeto o controle de escoamento, com medidas estruturais e não estruturais; ii) identificar os limites necessários ao desenvolvimento urbano; iii) elaboração de regulamentações para as condições determinadas.

### 3.3 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DA RETROÁREA DE PORTOS

A história ensina que a implantação das estruturas portuárias decorre em mudanças estruturais nas cidades costeiras, sendo que as alterações ocorrem de diversas formas, modificando o social, o ambiente, a paisagem, a economia dentre outros. Para prever-se os impactos de tantas reconfigurações é necessário o planejamento para a implantação dos portos. (COELHO; MONTEIRO; SANTOS, 2004; PELLEGRAM, 2000). Ribeiro e Siqueira (2012) descrevem em seu trabalho as diversas modificações que a cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo, sofreu decorrente das mudanças das atividades portuárias, passando de somente transporte produtos agropecuários para os mais diversos tipos de produtos.

A urbanização das cidades devido a instalação ou expansão portuária depende da produção, circulação, planejamento e funcionamento do porto e do seu entorno, impactando de forma social e ambiental na qualidade de vida das pessoas envolvidas na transformação portuária. (RIBEIRO; SIQUEIRA, 2012). Xiao e Lam (2017), descrevem que a inter-relação porto e cidade devem ser o mais harmonioso e sustentável possível, respeitando o tripé econômico, social e meio ambiente, de forma que as atividades portuárias tragam consigo mais melhorias do que agravos para o ambiente da cidade.

O dinamismo das atividades portuárias reflete em alterações de uso e ocupação do solo que não está limitada somente às divisas do porto, pois se verifica o aumento da urbanização e a redução da área permeável ao redor dos empreendimentos portuários, reduzindo a capacidade de infiltração e resultando em taxas de escoamento maiores quando comparado com a situação de solos naturais. (JOHNSON; SAMPLE, 2017). Coelho et al. (2004) descreveram em seu trabalho que a modernização portuária do porto de Vila do Conde, localizado no município de Barcarena no estado do Pará, resultou em grandes modificações espaciais no município, inclusive ao longo dos rios próximos a área portuária e com a realização de um distrito industrial no entorno do porto. Carvalho et al. (2010), de forma similar, descrevem a mudança espacial ocorrida no município de São João da Barra/RJ após a implantação do Porto Açú na região, inclusive com o aumento da zona industrial no Norte Fluminense.

Do ponto de vista da hidrologia, o maior paradigma são as transformações que o uso e ocupação do solo irá passar durante o processo de maturação do porto e sua retroárea. Estudos tem sido realizado para a verificação do crescimento da urbanização ao redor dos portos, Chen e Nuo (2013), realizaram um estudo de caso sobre a cidade portuária de Dalia,

na China, utilizando de imagens de satélite, métodos de regressão logística e modelagem dinâmica espacial baseada em autômatos celulares obtiveram respostas de uso e ocupação do solo para três cenários de expansão portuária. O Quadro 1 sintetiza os cenários propostos pelos autores citados.

Quadro 1 - Cenários de Uso e Ocupação do Solo

<b>Cenário</b>	<b>Conceito</b>	<b>Descrição</b>
1	Desenvolvimento Natural	Mudanças de uso e ocupação sem a expansão portuária, mantendo a taxa de crescimento atual
2	Orientado para o alvo	Mudanças de uso e ocupação com a expansão portuária
3	Proteção Ecológica	Mudanças de uso e ocupação do solo com implantação de terra ecológica (reservas naturais, terras agrícolas e florestas)

Fonte: Adaptado de CHEN; NUO (2013).

Dentre os cenários que os autores propuseram o cenário dois é a proposta semelhante ao estudo desenvolvido na pesquisa, sendo seus dados os mais adequados a aplicação na simulação. Através das imagens de satélite dos anos 2000 e 2010, os autores ajustaram uma matriz de transição do uso e ocupação da terra na cidade ao redor da área do porto. O ajuste foi considerado por eles de alta confiabilidade.

Com os cenários estabelecidos e a regressão determinada, Chen e Nuo (2013), simularam para o período entre os anos de 2010 a 2020 as prováveis alterações no uso e ocupação do solo da Cidade e concluíram que o incremento de áreas urbanizadas para os cenários 01, 02 e 03 foram respectivamente 44,7%,54,3% e 19%.

Kawashima et al (2016) realizaram estudo similar ao dos autores chineses, trabalhando com um porto localizado no Brasil, o porto de Santos e analisaram a mudança da paisagem portuária na Baixada Santista. Os autores brasileiros ao analisarem as imagens que possuíam para os anos de 2005 e 2013 conseguiram traçar uma matriz de transição prognóstica para o período de 2013 a 2024, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de Transição de Múltiplos Passos no Período entre 2013 e 2024

<b>Período: 2013-2024</b>	<b>Matriz de Transição de Múltiplo Passo (percentuais anuais)</b>		
	<b>Urbano</b>	<b>Campo</b>	<b>Solo</b>
Floresta	0,14%	0,16%	0,04%
Manguezal	0,26%	0,30%	0,10%
Campo	1,23%	-	0,60%
Solo	2,19%	-	-
Água	0,17%	-	-
<b>Total</b>	<b>3,99%</b>	<b>0,46%</b>	<b>0,74%</b>

Fonte: Adaptado de KAWASHIMA et al (2016).

Chen E Nuo (2013) obtiveram uma taxa de crescimento linear no processo de urbanização entorno de 4,93% enquanto o estudo de Kawashima et al (2016) concluiu uma taxa de crescimento linear de 3,99% no processo de transformação nas áreas no entorno do Porto de Santos.

### 3.4 DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES

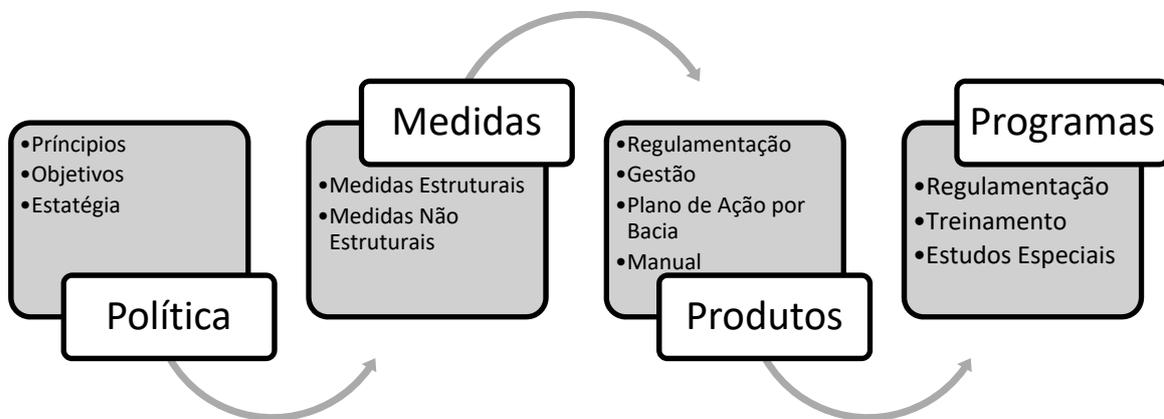
As enchentes correspondem a um dos principais riscos ambientais que a população pode ser atingida (JHA et al., 2012), porém quando a frequência das inundações é baixa, ocorre à diminuição do sentimento de risco da população que passa a ocupar áreas com potencial de serem inundáveis (TUCCI et al., 2004a).

Práticas de gestão de águas pluviais têm sido utilizadas para reduzir o impacto das enchentes, sendo necessário avaliar a utilização de medidas estruturais e não estruturais, que serão indicadas de acordo com as características da bacia. (ZHANG; CHUI 2018). A priori as propostas de prevenção e planejamento, que são medidas não estruturais, devem ser implementadas antes das medidas estruturais, que demandam maiores custos de realização. Exemplos oriundos da Europa demonstram que a aplicação desses conceitos reduz o impacto das enchentes. (TRAVASSOS, 2012).

As medidas não estruturais são aquelas que visam as ações de prevenção e previsão de enchentes, gerenciamento do uso e ocupação do solo, dentre outros, enquanto as medidas

estruturais são obras de engenharia realizadas para reduzir o risco de enchentes, enquanto as medidas não estruturais aplicadas em conjunto ou não com as medidas estruturais podem minimizar a influência das inundações, sendo que para novas urbanizações predominam as medidas não estruturais e áreas já urbanizadas as medidas estruturais. (FILHO; SZÉLIGA; ENOMOTO, 2000; TUCCI, 2003). Tucci (2007) descrevem o fluxograma de ação para a implementação das medidas de contenção de enchentes. O Fluxograma é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Fluxograma das Medidas de Contenção de Cheias



Fonte: Adaptado TUCCI (2007).

### 3.4.1 MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS

Como já mencionado, as medidas não estruturais utilizam-se de leis, prevenções, seguros, treinamento população e profissionais para validar a sua utilização, no intuito de reduzir os impactos das cheias pós urbanização sem modificar o risco de enchentes naturais possibilitando a sociedade perceber a necessidade de respeitar e adotar os princípios que serão implantados. (TUCCI, 2007; PARANÁ, 2002).

O Quadro 3 descreve as principais medidas não estruturais que podem ser utilizadas em um programa de prevenção de cheias.

Quadro 3 - Medidas Não Estruturais de Controle de Cheias

Ações Conceituais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Legislação;</li> <li>- Zoneamento;</li> <li>- Determinação do Uso e Ocupação do Solo;</li> <li>- Normas e Procedimentos Técnicos.</li> </ul>
Sociedade e Profissionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Educação Ambiental;</li> <li>- Capacitação de Recursos Humanos;</li> <li>- Mapeamento de Zonas de Risco de Inundação;</li> <li>- Seguros de Enchentes;</li> <li>- Sistema de Alerta;</li> <li>- Programa de Resíduos Sólidos.</li> </ul>
Controle de Drenagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiscalização do projeto, execução e manutenção dos sistemas de drenagem.</li> </ul>

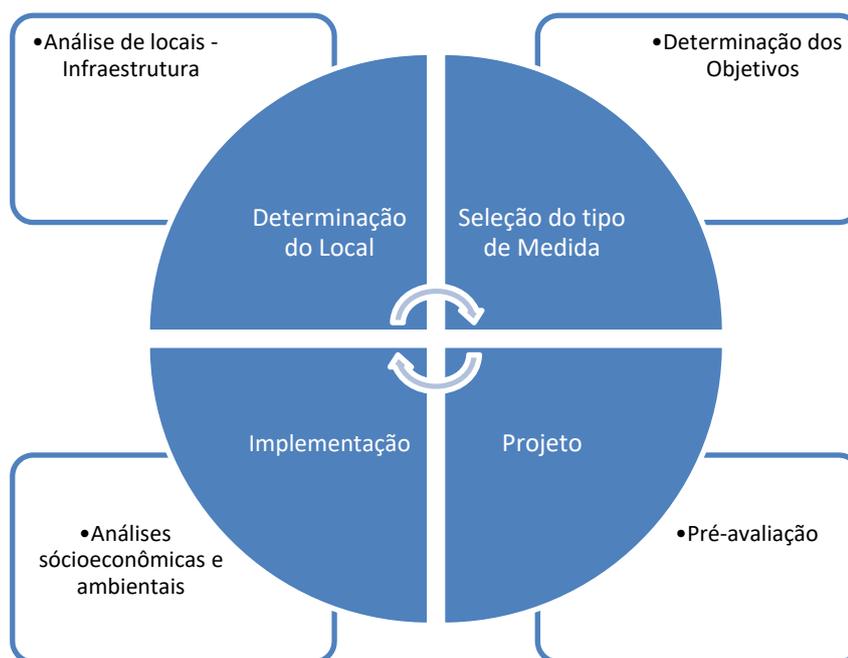
Fonte: Adaptado PARANÁ (2002); FILHO, SZÉLIGA e ENOMOTO (2000).

### 3.5.2 MEDIDAS ESTRUTURAIS

A complexidade das medidas estruturais a serem tomadas engloba atores diversos, pois no planejamento das práticas de gestão de águas pluviais está envolvida a população, gestores públicos e meio ambiente, então, verifica-se que a interação dessas partes torna o processo de gestão ruidoso, seja por restrições físicas, socioeconômicas ou institucionais. Porém, quando utilizadas em áreas em processo de urbanização, verifica-se a maior efetividade na aplicação dos métodos de controle de enchente, pois ainda possuem áreas onde as estruturas de melhoria possam ser implementadas sem maiores ruídos. (CETTNER et al, 2013).

Zhang et al. (2018) propuseram em seu trabalho que antes da determinação da alocação das medidas estruturais para controle de cheia deve ser realizado um ciclo de planejamento estratégico, conforme Figura 2. Para compor o planejamento estratégico são necessários os seguintes elementos: características das bacias, tais como uso e ocupação da terra, características físicas da bacia, infraestrutura existente, possíveis dificuldades à implantação da medida, dentre outros.

Figura 2 - Plano Estratégico para Alocação de Medidas Estruturais



Fonte: Adaptado Zhang et al. (2018).

Tucci (2003) descreveu uma síntese de medidas estruturais a serem utilizadas no controle de enchentes. Jha et al. (2012) também propuseram algumas medidas estruturais a serem utilizadas no controle de cheias. O Quadro 4 demonstra as propostas estabelecidas pelos autores.

Quadro 4 - Medidas Estruturais para controle de cheias

Medida Estrutural		Tucci.	Jha et al.
Cobertura Vegetal		X	
Contenção de Cheias	Diques	X	X
Transferência de Inundação para Jusante	Melhoria do Canal	X	X
	Modificações do Canal	X	X
Reservatórios		X	
Sistemas de microdrenagem			X
Sistemas de infiltração	Trincheiras		X
	Poços de Infiltração		X
	Pavimentos Permeáveis		X
Alagados			X
Gestão de águas subterráneas			X

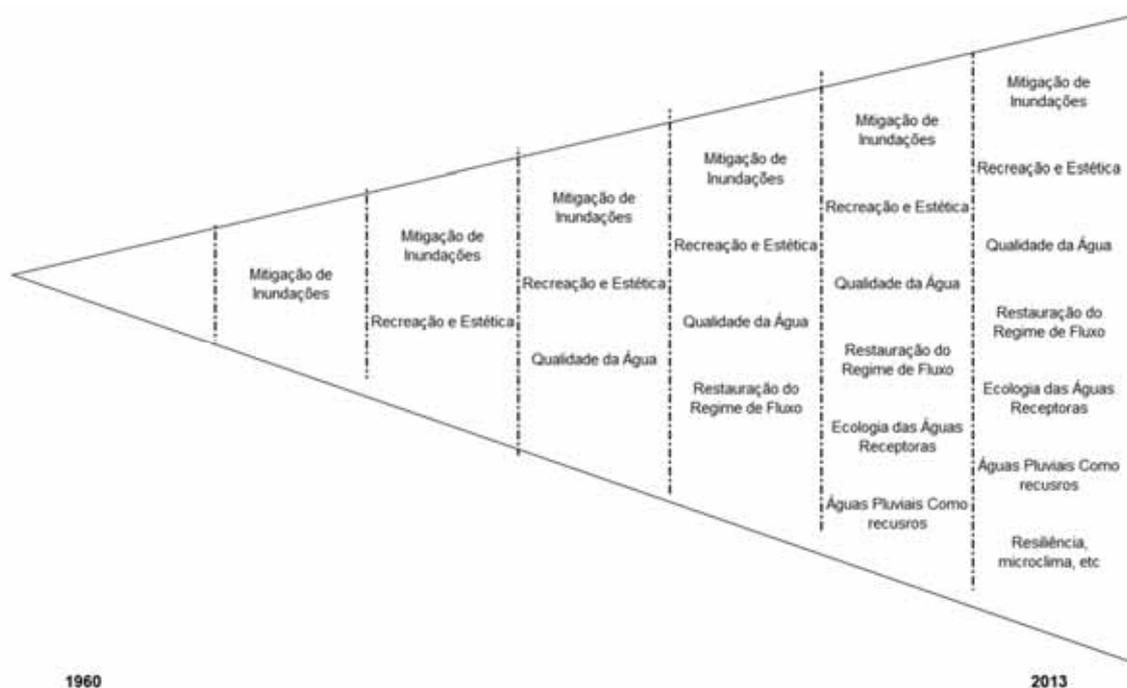
Fonte: Adaptado de Tucci (2004) et al. e Jha et al. (2012).

Observa-se no Quadro 4, que dentre as soluções estruturais identificam-se tanto soluções consideradas tradicionais quanto soluções consideradas sustentáveis, onde o sistema tradicional consiste na transferência rápida de montante para a jusante enquanto os sistemas sustentáveis tendem a retardar o escoamento através de sistemas de infiltração, reservatórios, diques, etc.

### 3.5.3 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Fletcher et al (2014) discutiram em seu trabalho sobre as mudanças de nome e conceito acerca da drenagem urbana, sendo utilizado ao longo do tempo os termos Desenvolvimento de Baixo Impacto, Sistema de Drenagem Urbana Sustentável, Melhores Práticas de Gestão (BMP); Infraestrutura Verde (GI); Gestão Integrada de Água Urbana; Medidas de Controle de Águas Pluviais; Alternativas técnicas ou compensatórias; Controle na Fonte. A Figura 3 demonstra as mudanças de paradigmas ao longo do tempo.

Figura 3 – Acréscimo, Integração e Sofisticação do Sistema de Drenagem – Evolução ao longo do Tempo



Fonte: Fletcher et al (2014).

A definição na literatura do que seja um Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) está atrelado ao local onde será implementado. Zhou et al (2014), descreve que na Europa o conceito de SUDS está ligado à saúde pública, protegendo e preservando os recursos hídricos e recursos naturais para necessidades futuras, por outro prisma, na Austrália o conceito

SUDS está interligado ao processo do planejamento e gestão dos recursos hídricos integrados a paisagem das cidades e procurando reduzir a degradação ambiental, enquanto que nos Estados Unidos SUDS está atrelado ao princípio Best Management Practice (BMP). Outro conceito estabelecido na literatura é o Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Developmnet*, LID), que nos Estados Unidos e Canadá tem a concepção da interação dos recursos naturais com o ambiente urbano preservando os recursos hídricos.

O conceito de infraestrutura verde nasceu como sendo a interligação da arquitetura das cidades com o conceito sustentável de drenagem, com ambientes de infiltração e interceptação, ao longo dos anos essa denominação vem se confundido com o princípio de LID, porém conforme já situado, a evolução e compreensão das aplicabilidades dos conceitos devem ser explicitados nos trabalhos, pois a variação a temporal e geográfica das nomenclaturas podem afetar as definições propostas. (FLETCHER et al, 2014)

No Brasil, por tratar-se de um país em desenvolvimento o conceito SUDS ainda está em processo de maturação, porém encaminha-se para no sentido de promover maior infiltração e reduzir os processos erosivos decorrentes do aumento do escoamento superficial. (POLETO, 2011).

Ellis e Lundy (2016) descrevem que os sistemas de drenagem sustentável podem ser agrupados em quatro grandes grupos: Sistemas de armazenamento, sistemas de infiltração, sistema de transporte e superfícies permeáveis com armazenamento. Assim, de acordo com Silveira (2002), um bom projeto de drenagem deve conseguir unir harmoniosamente os grupos de sistemas.

Estudos demonstram que o sistema convencional de drenagem, concentração e canalização do fluxo das drenagens pluviais, tem impacto direto nas redes fluviais, tanto de impacto ambiental, principalmente devido à poluição das águas, quanto problemas na variação hidráulica dos canais. , os (SUDS) são alternativos à gestão convencional da drenagem, permitindo desenvolver soluções que diminuem o impacto de inundações através de proposições que ajudam a diminuir a influência da urbanização nos parâmetros hidrológicos (WALSH et al., 2012; PERALES-MOMPARLER, 2017).

O Quadro 5 sintetiza as principais obras de drenagem sustentável que podem ser aplicadas.

Quadro 5 - Lista de Medidas de Controle Básicas

<b>Obra</b>	<b>Característica Principal</b>	<b>Função</b>	<b>Efeito</b>
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
Microrreservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Bacia de detenção	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia de retenção	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo.	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Conduitos de armazenamento	Conduitos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: Silveira (2002).

Os SUDS podem ser de maneira distribuída, em contraponto ao sistema de drenagem tradicional que concentra o fluxo em redes, integrando o sistema ao planejamento urbano e ao meio ambiente. A descentralização integrada reduz os impactos da mancha de urbanização, pois a centralização demandaria uma grande área e mesmo assim não traria tantas melhorias às condições hidrológicas, enquanto a descentralização das SUDS permite a utilização de vários elementos de menor área concentradas, tais como trincheiras para retenção, pavimentos permeáveis, faixas verdes, os quais podem interagir harmoniosamente com o ambiente urbano. (LOPERFIDO et al., 2014).

Crítérios foram relatados em estudos desenvolvidos para a otimização da escolha do sistema de drenagem sustentável. Zhang et al. (2018) relacionou a escolha de decisão com a relação entre redução de vazão com o custo de implantação. Liu et al. (2016) estabeleceu critérios voltados ao impacto da poluição ao meio ambiente, analisando a maior redução de poluição com o menor custo de implantação.

Yu et al. (2013) verificaram que mesmo nos períodos de seca os SUDS são de suma importância, pois eles continuam trabalhando no controle da poluição reduzindo a concentração de poluentes no ponto de desague. Åstebøl et al. (2004) concluíram que a utilização de sistemas sustentáveis na urbanização do aeroporto de Fornebu (Oslo) reduziu o custo da drenagem em 30% quando comparado com a drenagem convencional.

De acordo com Jia et al. (2013), a escolha do SUDS está atrelada à basicamente três critérios: condições de localização, benefícios do sistema e custo. O Quadro 6 demonstra as três categorias.

Quadro 6 - Critérios para Tomadas de Decisão do Sistema de drenagem

<b>Critério 01</b> <b>Condições de Localização</b>	<b>Critério 02</b> <b>Benefícios do Sistema</b>	<b>Critério 03</b> <b>Custos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso e Ocupação do Solo</li> <li>• Poluição</li> <li>• Características do Solo</li> <li>• Características das Águas Subterrâneas</li> <li>• Topografia</li> <li>• Propriedades da Bacia</li> <li>• Espaço necessário para o Sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e regularização da Vazão</li> <li>• Controle da Qualidade de Água</li> <li>• Outros Benefícios - Reuso da água de Chuvas, benefícios ambientais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo para Implantação</li> <li>• Custo para Operação e Manutenção</li> <li>• Confiabilidade do Sistema.</li> </ul>

Fonte: Adaptado JIA et al. (2013).

Estudos recentes apresentaram resultados de simulação e aplicação dos sistemas sustentáveis de drenagem. Recanatesi et al. (2017) analisou a implantação de um sistema de gestão de águas pluviais em uma bacia urbana em Roma, na Itália, e chegaram a resultados de simulações para diferentes períodos de retorno que indicam que em 90% dos casos com a utilização dos sistemas não ocorreria enchentes e em 10% dos casos as áreas inundadas seriam menores quando comparados com o sistema convencional de drenagem. Já Liu et al. (2016) desenvolveram um trabalho que simulou vários cenários com a utilização de sistemas de gestão de drenagem (bacias de retenção, reservatório, etc.) com modelos de baixo impacto (telhados verdes, pavimentos porosos, trincheiras drenantes, etc.), pois os custos das soluções adotadas podem variar desde a área necessária para o acúmulo das águas até a manutenção dos sistemas de drenagem.

### 3.5 PAVIMENTO PERMEÁVEL

Os pavimentos permeáveis não são estruturas projetadas com função exclusiva receberem o tráfego de pessoas e veículos, mas também auxiliar na redução do escoamento superficial, pois o conceito dos pavimentos permeáveis é permitir a infiltração através da estrutura do pavimento, incluído a camada de rolamento e a base do pavimento (BOOGARD et al, 2014).

Pinto (2011) discorre em seu trabalho que os pavimentos para serem considerados permeáveis devem ter os seus vazios interligados e que os revestimentos podem ser porosos ou permeáveis. Butler e Davies (2010) esclarecem que a diferença entre permeável e poroso é o material constituinte que no caso dos revestimentos porosos deve permitir a penetração da água em seus poros, enquanto no revestimento permeável a água infiltra através das juntas ou vazios encontrados no revestimento.

Os pavimentos realizados com blocos de concreto (Figura ) são considerados revestimento permeável enquanto os pavimentos de concreto poroso e asfalto poroso são considerados revestimentos porosos. Os pavimentos de blocos vazados (Figura 5) e os pavimentos de plástico vazados são considerados pavimentos permeáveis, porém sua utilização está condicionada a tráfego leve de veículos e pedestres, sendo que os vazios quando preenchidos por grama estão sujeitos às intempéries climáticas. (BUTLER; DAVIES; 2010; MULLANEY; LUCKE (2014))

Figura 4 - Pavimento de Blocos de Concreto



Fonte: Autor (2018).

Figura 5 - Pavimento de Blocos de Concreto Vazado



Fonte: Autor (2018).

Figura 6 - Pavimento Permeável Asfáltico



Fonte: Essa. Disponível em <http://essa.com/2017/08/22/pavimentos-porosos/>. Acesso em 05 set. 2019.

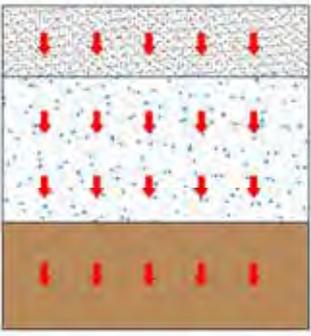
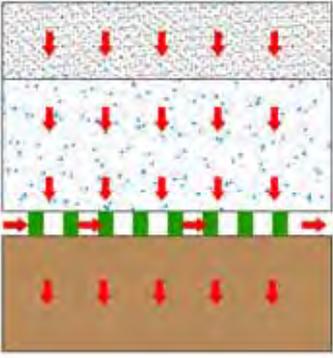
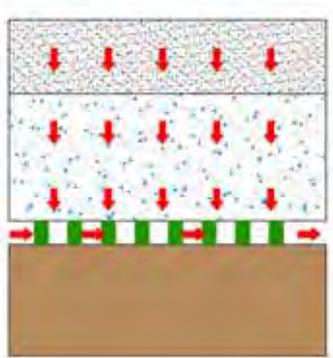
Figura 7 - Pavimento Poroso de Concreto



Fonte: Tecnosil. Disponível em <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-permeavel-o-que-e-e-quais-seus-grandes-atrativos/>. Acesso em 05 set. 2019.

O projeto de dimensionamento do pavimento permeável inicia-se pela escolha do sistema de infiltração a ser adotado, os sistemas de infiltração são classificados em três tipos: Infiltração total; Infiltração parcial; sem infiltração. (ABNT, 2015). No Quadro 7 são apresentados mais detalhes sobre cada um desses sistemas.

Quadro 7 - Sistemas de Infiltração dos Pavimentos Permeáveis

 <p>Revestimento Permeável</p> <p>Base Permeável</p> <p>Sub-leito (Solo Permeável)</p>	<p>Infiltração Total – A água precipitada alcança o subleito e infiltra no solo.</p>
 <p>Revestimento Permeável</p> <p>Base Permeável</p> <p>Drenos</p> <p>Sub-leito</p>	<p>Infiltração parcial – Parte das águas precipitadas infiltra no subleito e a outra parte fica armazenada e retirada com auxílio de drenos.</p>
 <p>Revestimento Permeável</p> <p>Base Permeável</p> <p>Drenos</p> <p>Sub-leito</p>	<p>Sem Infiltração – Água não infiltra no subleito, ficando armazenada na estrutura do pavimento e retirada com auxílio de drenos.</p>

Fonte: Adaptado ABNT (2015) e PINTO (2011).

Kuruppu, Rahman e Rahman (2019) realizaram em seu trabalho uma revisão literária em mais de duzentos artigos que tratavam sobre a utilização de pavimentos permeáveis e suas diversas aplicações, destacando as variações de projeto, a capacidade de remoção de poluentes, controle de cheias e limitações de utilização, destacando que nos estudos analisados os pavimentos permeáveis destacam-se de outros métodos de drenagem sustentável (telhados verdes, sistemas de contenção, outros sistemas de infiltração) como

sendo de maior capacidade de controle do escoamento das águas pluviais e com menor custo de execução.

Fassman e Blackbourn (2010) acompanharam o desempenho de um pavimento permeável com revestimento de asfalto poroso durante o período de 2006 a 2008 na cidade de Auckland na Nova Zelândia, concluindo em sua análise que o pavimento proposto atingiu o estimado em projeto, que foi a redução de poluentes e o aumento da infiltração das águas pluviais.

A norma ABNT NBR 16416/2015 determina a resistência mecânica e a espessura mínima do revestimento permeável, conforme Tabela 2, sendo que a norma define o conceito de tráfego de pedestre e tráfego leve.

*“Tráfego de pedestres – corresponde ao uso exclusivo do pavimento por pedestres, sendo vedada a passagem de qualquer veículo automotor. (...)*

*Tráfego leve – solicitação do pavimento ao tráfego preferencial de veículos leves, como ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel, utilitário, caminhonete e camioneta, como volume médio diário (VMD) de até 400, podendo existir ocasionalmente o tráfego de ônibus e caminhões em número não superior ao VMD de 20.”*  
ABNT, 2015.

Tabela 2 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

<b>Tipo de Revestimento</b>	<b>Tipo de Solicitação</b>	<b>Espessura Mínima (mm)</b>	<b>Resistência Mecânica Característica (Mpa)</b>	<b>Método de Ensaio</b>
Peça de Concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de Pedestres	60	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de Pedestres	60	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto permeável	Tráfego de Pedestres	60	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de Pedestres	60	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100	$\geq 2,0^c$	

a - determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781  
b - determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805  
c - determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142

Fonte: ABNT (2015).

Apesar da norma brasileira não prever a execução de pavimentos permeáveis para tráfegos acima do leve, a literatura demonstra que a adequação correta do projeto estrutural com o

projeto hidráulico do pavimento permite a utilização dos pavimentos permeáveis para diversas condições de tráfego. Shackel et al (2008) expuseram em sua pesquisa que na Austrália o pavimento permeável já foi utilizado para pavimentação de parques, estacionamentos, rodovias e portos. Knapton e Cook (2000) relatam que uma área de 132.000 m<sup>2</sup> do Porto de Santos (Brasil), cujo tráfego era para o transporte de contêineres com carga excedia a 50.000kg foi pavimentada com a utilização de blocos de concreto com juntas alargadas para permitir o fluxo da água para a base do pavimento.

### 3.6 BACIAS DE AMORTECIMENTO

As bacias de amortecimento são reservatórios utilizados para o armazenamento de águas, que possibilitam a redução das vazões de cheias aumentando o tempo de base do hidrograma, não reduzindo o escoamento direto, mas regulando as vazões de saída. As bacias de detenção podem ser ao longo do canal ou rio (*on line*) ou paralelo as calhas do canal ou rio (*off line*). (MIGUEZ; DI GREGORIO; VERÓL, 2018; TOMAZ, 2002). Os reservatórios podem ser instalados de forma aberta, com forma de diques ou barragens ao longo do canal, ou podem ser fechados e subterrâneos.

O conhecimento das condições de contorno (topografia, rede hidrográfica, uso e ocupação do solo, condições geológicas, tipo de solo) da bacia de detenção são de extrema necessidade para que o reservatório possa ser dimensionado e implementado.

No caso de barramentos, os locais eleitos para a instalação dos barramentos devem levar em conta os seguintes critérios:

- ✓ Menor comprimento de barramento, com encaixe nas ombreiras para aumento do fator de segurança global;
- ✓ Disponibilidade de solo ou rocha proveniente de escavações requeridas, disponíveis em quantidade e qualidade adequadas, segundo um fluxo compatível com a construção do arranjo proposto;
- ✓ Condições climáticas: a existência de períodos chuvosos razoavelmente prolongados onera exageradamente a construção de aterro de solo compactado ou núcleos de argila porque condiciona o progresso da construção. O caso específico das barragens de terra (mais utilizadas de maneira geral) consiste na solução mais econômica. Tal tipo de barragem pode ser executada desde que satisfaça, com o fator de segurança adequado, as seguintes condições básicas:

- Segurança do aterro contra o transbordamento;
- Estabilidade dos taludes durante e após a execução;
- Estabilidade em caso de esvaziamento rápido do reservatório;
- Controle de tensões nas fundações;
- Evaporação superficial;
- Controle de percolação pela fundação, barramento e ombreiras.

As bacias de detenção podem ser integradas ao planejamento das cidades, pois podem ser utilizadas para fins recreativos, aproveitamento de água, preservação ambiental, serem incorporadas a paisagens, e por ser de característica de reservatório provisório, a bacia de detenção pode ser empregada tanto quando nas épocas seca ou nas épocas chuvosas. (REZENDE; MIGUEZ; VERÓL, 2013).

Campana, Silveira e Silva Jr (2007) acompanharam o controle de vazão de duas bacias de detenção na cidade de Brasília-DF, sendo uma bacia seca e outra alagada, e identificaram que para o período de monitoramento o amortecimento de vazão de pico foi da média de 60% e 74% respectivamente.

No caso específico da região do município de Presidente Kennedy, a municipalidade possui um estudo para implantação de barragens, devido a seguinte justificativa:

*“O Espírito Santo e principalmente o município de Presidente Kennedy vive, desde o final de 2014, uma das piores estiagens de sua história, caracterizada pelo reduzido volume de precipitação e, por consequência, pela baixa vazão dos principais rios e córregos. A administração municipal vem envolvendo os diversos segmentos da sociedade na gestão do problema e, naturalmente todas as suas estruturas funcionais que estão se solidarizando na busca por soluções conjuntas e emergenciais. Neste contexto, a construção de barragens em diversas localidades do município, apresenta-se como uma alternativa para o aumento da disponibilidade hídrica a curto e médio prazo, reduzindo assim o déficit e o impacto negativo sobre a população e sobre a produção e renda dos produtores. Assim, a elaboração de projetos de 5 (cinco) barragens de múltiplo uso para o município se mostra necessária.” (PMPK, 2017)*

### 3.7 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Tucci et al. (2004b) descreveu duas formas de compreender o tempo de concentração, uma maneira sendo como d'água precipitada percorrer a distância entre o ponto mais longínquo da bacia até a seção principal e outra forma como sendo o tempo entre o fim da precipitação até a inflexão do hidrograma. O tempo de concentração é importante para a determinação das vazões máximas de uma bacia hidrográfica.

Diversos autores elaboraram equações empíricas para a determinação do tempo de concentração, com grandes variações condições de aplicação e de valores de retorno. Alguns estudos foram elaborados buscando compreender a variabilidade e a confiabilidade das respostas de retorno das equações, Sharifi e Hosseini (2011) estudaram nove equações do tempo de concentração para setenta e duas bacias no Irã. No Brasil, Silveira (2005) analisou vinte e três expressões para bacias norte americanas. O Quadro 8 apresenta as equações analisadas pelos autores.

Quadro 8 - Equações Tempo de Concentração

Nome Equação	Fórmula	(1)	(2)
Izzard	$Tc = 85,5(1/36286 + Cr)i^{-0,667}L^{0,33}S^{-0,33}$	X	
Kerby-Hathaway	$Tc = 0,619N^{0,47}L^{0,47}S^{-0,235}$	X	X
Onda Cinemática	$Tc = 7,35n^{0,6}i^{-0,4}L^{0,6}S^{-0,3}$	X	X
FAA	$Tc = 0,37(1,1 - C)L^{0,5}S^{-0,333}$	X	X
Kirpich	$Tc = 0,0663L^{0,77}S^{-0,365}$	X	X
SCS LAG	$Tc = 0,057(1000/CN - 9)^{0,7}L^{0,8}S^{-0,5}$	X	X
Simas-Hawkins	$Tc = 0,322A^{0,594}L^{-0,594}S^{-0,15}S_{aca}^{0,313}$	X	
Ven. te Chow	$Tc = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$	X	
Dooge	$Tc = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$	X	
Johnstone	$Tc = 0,462L^{0,5}S^{-0,25}$	X	
Corps Engineers	$Tc = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$	X	
Giandotti	$Tc = 0,0559(4,0A^{0,5} + 1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$	X	X
Pasini	$Tc = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$	X	
Ventura	$Tc = 0,127A^{0,5}S^{-0,5}$	X	
Picking	$Tc = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$	X	
Carter	$Tc = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$	X	X
Espey-Winslow	$Tc = 0,343A^{0,41}S^{-0,17}$	X	X
Tc (h), A (km <sup>2</sup> ), L (km), S (m/m)			

(1) SILVEIRA (2005) / (2) SHARIFI e HOSSEINI (2011)

Fonte: Adaptado de SILVEIRA (2005) e SHARIFI e HOSSEINI (2011).

Os autores elegeram as expressões que apresentaram melhor resposta aos dados das bacias trabalhadas. Sharifi e Hosseini (2011) concluíram em seu trabalho que as equações do método de Califórnia, Arizona DOT e Kirpich apresentaram resultados mais consistentes. Silveira (2005) identificou que para as bacias rurais as equações que trouxeram respostas mais confiáveis foram os métodos de Corps Engineers, Ven te Chow, Onda Cinemática e Kirpich, enquanto que para as bacias urbanas as que trouxeram melhor resultado foram às equações de Carter, Schaake e Kirpich.

### 3.8 CHUVA DE PROJETO

Independente de qual formato de drenagem pode ser implantado, a vazão de projeto para um determinado período de retorno é necessária na elaboração do projeto do sistema de drenagem. Contudo, a deficiência de postos fluviométricos traz à luz a chuva de projeto, que passa apresentar grande importância como variável hidrológica. Portanto, para se obter uma relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas intensas, as observações devem cobrir um longo período, para que assim seja possível aceitar as frequências como probabilidades. Essa relação é expressa pela curva de intensidade-duração, uma para cada frequência, salientando que essas curvas variam de local para local, sendo necessário o estudo pluviométrico de cada localidade.

O número médio de anos que uma dada precipitação é igualada ou superada é denominado *período de retorno*.

É importante salientar o caráter não cíclico dos eventos randômicos, ou seja, uma enchente com período de retorno de 100 anos (que ocorre, em média, a cada 100 anos) pode ocorrer no próximo ano, ou pode não ocorrer nos próximos 200 anos, ou ainda pode ser superada diversas vezes nos próximos 100 anos.

Para uma análise de frequência de chuvas, os dados podem ser dispostos em dois tipos de séries: Série Anual e Série Parcial.

1. Série Anual consiste em anotar apenas a chuva máxima de cada ano;
2. Série Parcial considera as chuvas acima de um valor base, independentemente do ano em que possa ocorrer, ou seja, não é definida em termos de ocorrência, mas pela sua magnitude. (NERILO et al., 2002).

Existe uma distinção importante entre os significados dos períodos de retorno das séries anuais e das séries de duração parcial. Nas séries anuais, o período de retorno ( $T_m$ ) é o intervalo médio no qual uma chuva intensa de dada intensidade tornará a ocorrer como um

máximo anual. Nas séries de duração parcial, o período de retorno ( $T_r$ ) é o intervalo médio entre intensidades de dado valor sem considerar a relação com o ano ou qualquer outro período em que ocorreram (WILKEN, 1978).

Segundo Tucci et al. (2004b), Gumbel mostrou que, se a função fundamental de probabilidade se aproxima da forma exponencial, quando  $X$  se aproxima do infinito, os valores extremos das amostras assintoticamente grandes se ajustam à lei exponencial dupla. A amostra precisa ser assintoticamente grande não somente para justificar a aproximação realizada pela equação  $1 - P_m = e^{-e^{-y}}$ , mas também porque os valores de extremos da amostra precisam ser grandes, isto ocorre na ordem de valores de  $X$  que são razoavelmente aproximados pela extremidade exponencial da distribuição de frequência fundamental.

Uma forma alternativa para lei exponencial dupla será obtida tomando logaritmos naturais de ambos os lados da equação  $1 - P_m = e^{-e^{-y}}$ , tem-se a equação (1):

$$X = \beta - \alpha \ln \left[ - \ln \left( \frac{1}{T_m - 1} \right) \right] \quad (1)$$

Nesta equação, a expressão  $1 - P_m$  é substituída pelo seu equivalente  $(T_m - 1)/T_m$ . Os valores  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes de ajustamento.

O método dos momentos consiste em igualar os momentos amostrais aos populacionais, resultando as estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidade de Gumbel (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

$$\bar{X} = \beta + 0,5772\alpha \quad (2)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \quad (3)$$

Resolvendo as equações (2) e (3), tem-se as equações (4) e (5):

$$\alpha = \frac{\sigma_x}{1,283} \quad (4)$$

$$\beta = \bar{X} - 0,45\sigma_X \quad (5)$$

No método de Gumbel, a locação dos pontos no diagrama é realizada marcando a grandeza de intensidade da chuva  $i$  contra a probabilidade ou período de retorno como é obtida da amostra. Uma variável é transformada para tornar a lei assumida em uma linha reta e esta é traçada de tal modo que a soma dos quadrados do desvio da mesma em uma dada direção seja um mínimo (ajustamento pelo princípio dos quadrados mínimos).

O método dos quadrados mínimos pode ser simplificado aplicando uma função  $K$ , que relaciona as variáveis  $X$  e  $T$ . Pode-se expressar  $K$  como sendo a seguinte função (ver equação (6):

$$K = \ln \ln [1 / (T_m - 1)] \quad (6)$$

Chow (1964) denominou  $K$  como um fator de frequência, sendo que essa expressão teórica se aproxima da relação obtida experimentalmente para  $n=100$  anos, a expressão proposta é apresentada na equação (7):

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left( \gamma + \ln \ln \frac{1}{T_m - 1} \right) \quad (7)$$

Observa-se que quando se dispõe de um número  $n$  pequeno, o valor de  $K$  é um pouco menor que o real. Os erros cometidos ao se empregar equação acima são da ordem de 19% para  $T=10$  anos; 10% com  $T=35$  anos; 7% para  $T=50$  anos e para períodos maiores o erro é praticamente insignificante.

Conforme apresentado por Wilken (1986), o Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo realizou estudo procurando estabelecer uma relação entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de 1 dia e 24 horas, com base em séries anuais.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados obtidos.

Tabela 3 - Relação de alturas Pluviométricas de 24h e de 1 dia

	Período de Retorno (Anos)					
	5	10	25	50	75	100
Relação entre alturas pluviométricas de 24h e de 1 dia	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,15

Fonte: Wilken (1986).

Para obter-se a altura pluviométrica com menor duração, foram adotados os valores obtidos pelo DNOS, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Relações entre Alturas Pluviométricas

<b>Relação Entre Alturas Pluviométricas</b>	<b>DNOS</b>
<b>5 min / 30 min</b>	0,34
<b>10 min / 30 min</b>	0,54
<b>15 min / 30 min</b>	0,70
<b>20 min / 30 min</b>	0,81
<b>25 min / 30 min</b>	0,91
<b>30 min / 1h</b>	0,74
<b>1h / 24h</b>	0,42
<b>6h / 24h</b>	0,72
<b>8h / 24h</b>	0,78
<b>10h / 24h</b>	0,82
<b>12h / 24h</b>	0,85

Fonte: Adaptado de WILKEN (1978) e Tucci (2002).

### 3.9 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Devido à ausência de dados de vazões ao longo da bacia, o processo transformação chuva-vazão é um elemento fundamental no desenvolvimento dos sistemas drenagem e a confiabilidade dos resultados obtidos interfere diretamente na segurança e funcionalidade do sistema. Uma das formas de transformação chuva-vazão pode ser realizada por modelos hidrológicos, os quais fornecem através de extrapolação ou previsão, dados que auxiliam na gestão da drenagem urbana. (TESSEMA et al.,2014; WORQLUL et al., 2018)

Boughton (2006) em seu estudo detalhou que os resultados obtidos nas simulações hidrológicas estão mais ligados aos dados de entrada do que o método utilizado, pois quanto menor for a qualidade dos dados de entrada menor será a qualidade dos resultados obtidos, portanto, os dados a serem utilizados serão validados de forma que possam fornecer o melhor resultado possível.

Os processos de simulação hidrológica necessitam de dados confiáveis de topografia, uso e ocupação da terra, vegetação e dados climáticos para poderem fornecer resultados mais próximos da real ocorrência. Assim, com o intuito de aproximar os resultados da realidade, alguns modelos de simulação permitem a sua calibração, ou seja, a partir de uma série histórica de valores obtidos em campo é possível realizar ajustes no modelo. (STEENBERGEN e WILLEMS, 2012; SURIYA e MUDGAL, 2012).

Para a realização de simulações hidrológicas, são necessários alguns parâmetros hidrológicos. Tucci et al. (2004c) categorizou os parâmetros hidrológicos em: parâmetros climáticos (precipitação, evapotranspiração, umidade, etc.); parâmetros de escoamento (vazões, área da bacia, rede de drenagem, etc.) e; Características do Meio (geologia, topografia, solos, vegetação, urbanização, etc.).

Os modelos de simulação hidrológica podem ser classificados de diversas formas. Devi et al. (2015) descrevem três agrupamentos de modelos: modelo empírico, modelo conceitual e Modelo Físico, onde:

- O modelo empírico utiliza de equações matemáticas ou regressões obtidas através de modelos estatísticos que com consideram séries históricas com dados de entrada e saída de eventos hidrológicos, sem considerar os elementos físicos das bacias hidrográficas.
- O modelo conceitual baseia-se em parâmetros de campo, modelagem em reservatórios e equações semi-empíricas, porém necessita de uma série história longa para a calibração do modelo;
- A representação matemática dos fenômenos físicos das bacias, é o conceito primordial dos modelos físicos, utilizando de variáveis que são representadas em funções que consideram o espaço e o tempo.

Booker e Woods (2014) descrevem que os modelos em alguns momentos se entrelaçam, pois, alguns modelos físicos necessitam de dados empíricos e modelos empíricos às vezes necessitam de conhecimentos físicos.

O Método do Soil Conservation Service (SCS), conforme descrito por Suriya e Mudgal (2012), é um método muito utilizado em diferentes ambientes, com bons resultados e possui a vantagem de que são poucas as variáveis a serem estimadas, comparado a outros modelos, sendo considerado um modelo empírico.

Widiyati e Sudibyato (2010) concluíram em seu trabalho que a utilização combinada do Método do Soil Conservation Service (SCS) com ferramentas de sistema de informações geográficas como o SIG permitem validar as informações de uso e ocupação do solo que por fim nortearão o valor da Curve Number (CN) a ser utilizado para o processo de transformação chuva-vazão.

Sartori et al. (2005a) concluíram que o método é subdividido em duas partes: Estimativa da chuva excedente e o cálculo do hidrograma de escoamento superficial.

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \text{ para } P > 0,2S \quad (8)$$

Sendo Q a chuva excedente (mm), P a precipitação (mm) e o potencial máximo de retenção (mm). O parâmetro S é estimado em função do número da curva de escoamento superficial (CN), sendo a equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

No modelo tradicional CN-SCS, a umidade do solo é relacionada com a precipitação pluvial de cinco dias antecedentes, dividindo-se nas condições AMC I (solo seco), AMC II (solo próximo à capacidade de campo) e AMC III (solo muito úmido)

Para o valor de CN na condição AMC II, Sartori (2005b) determinou uma classificação para bacias rurais de acordo com o solo e o comportamento hidrológico, conforme demonstrado no Quadro 9.

Quadro 9 - Número de CN

Descrição da Cobertura		Número da Curva para os grupos			
Uso	Tratamento ou manejo do solo	A	B	C	D
Solo Exposto		83	86	91	94
	Terra Arada + SRC	81	85	90	93
	RCS	75	83	88	90
Culturas Anuais (CA)	N*+SRC	77	84	89	91
	N*+RCI	72	80	85	88
	N*+RCSI	66	74	80	82
	N*+RCS	63	70	77	80
Culturas Temporais (Ct)	N*	65	75	81	83
	N*+RCS	61	71	78	81

Descrição da Cobertura		Número da Curva para os grupos			
Uso	Tratamento ou manejo do solo	A	B	C	D
Culturas Perenes (Cp)	N*	43	65	76	82
	N*+RCS	32	58	72	89
Pastagem	Degradada	68	79	86	89
	Nativa	49	69	79	84
	Melhorada	39	61	74	80
Reflorestamento	N*	45	66	77	83
	N*+RCS	35	55	70	77
Vegetação Natural	Capoeira	30	48	65	73
	Mata	20	40	49	52
Estradas e Construções Rurais < 50% Impermeável		59	74	82	86
Estradas e Construções Rurais > 50% Impermeável		72	82	87	89

Legenda:

N\*: Plantio em nível ou contorno

Ca: Culturas anuais (plantio e colheita anual). Exemplo: milho, soja, etc.

Ct: Culturas temporárias (plantio a cada 3 ou mais anos). Exemplo: cana-de-açúcar

Cp: Culturas perenes. Exemplo: pomar, café.

SRC: Sem resíduo cultural

RCI: Resíduo cultural incorporado < 2 t/ha

RCSI: Resíduo cultural semi-incorporado 2 a 4 t/ha

RCS: Resíduo cultural na superfície > 5 t/ha

Pastagem:

*Degradada* - presença de compactação superficial, utilização de queimadas, e até 25 % da área sem vegetação, mesmo no período chuvoso.

*Nativa*: Pasto natural sendo feito controle de manejo de animais e limpezas esporádicas.

*Melhorada*: Correção de acidez e fertilização, plantio de gramíneas adaptadas, manejo de Animais.

Fonte: Sartori (2005b).

Os grupos hidrológicos do solo correspondem ao solo tipo A que é o de mais baixo potencial de deflúvio com a ocorrência terrenos muito permeáveis com pouco silte e argila. O solo tipo B tem uma capacidade de infiltração acima da média após o completo umedecimento, incluindo os solos arenosos. O solo tipo C tem uma capacidade de infiltração abaixo da média após a pré-saturação, apresentando porcentagem considerável de argila e coloide. O solo tipo D é o de mais alto potencial de deflúvio composto por áreas quase impermeáveis.

Tucci et al. (2004c) apresentaram uma tabela para CN na condição AMC II para áreas urbanas e suburbanas, conforme retratada no Quadro 10.

Quadro 10 - Valores de CN para bacias Urbanas e Suburbanas

<b>Utilização ou Cobertura do Solo</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Zonas Cultivadas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios ou terrenos em más condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições.	com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	com relva em mais de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas Comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas Industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
lote de m <sup>2</sup>	% Média Impermeável				
<500	65%	77	85	90	92
1000	38%	61	75	83	87
1300	30%	57	72	81	86
2000	25%	54	70	80	85
4000	20%	51	68	79	84
Parque de Estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamento e estradas	Asfaltadas	98	98	98	98
	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci et al. (2004c).

A maioria dos estudos sobre as condições hidráulicas dos pavimentos permeáveis tratam do coeficiente de escoamento superficial, porém em paralelo pesquisas têm sido realizadas para obtenção de CN para pavimentos permeáveis. Bean et al (2007) estudaram quatro tipos de configuração de pavimentos permeáveis executados sobre solos arenosos: a) Pavimento em Blocos de concreto intertravado com espessura de 9 cm, assentado sobre colchão de areia com 5,0cm de espessura e base de material pétreo de 20,0cm; b) Concreto poroso com espessura de 20,0 cm; c) Grade plástica reforçada preenchida com cascalho sobre camada material pétreo de 20,0cm e; d) Grade plástica reforçada preenchida com grama sobre camada material pétreo de 20,0. Outras três configurações de pavimentos permeáveis foram analisadas por Damodaram et al (2010): i) concreto poroso com 40 cm de armazenamento;

ii) Concreto vazado com 7mm preenchido com cascalho; iii) Concreto poroso com 9 cm de espessura com dreno. A Tabela 5 resume os dados de CN obtidos nas pesquisas.

Tabela 5 - CN para Pavimentos Permeáveis

Tipo de Pavimento	CN	
	Bean et al (2007)	Damodaram et al (2010)
Pavimento em Blocos de concreto intertravado com espessura de 9 cm assentado sobre colchão de areia com 5,0cm de espessura e base de material pétreo de 20,0cm	43,5	-
Concreto poroso com espessura de 20,0 cm	73,5	-
Grade plástica reforçada preenchida com cascalho sobre camada material pétreo de 20,0c	69,5	-
Grade plástica reforçada preenchida com grama sobre camada material pétreo de 20,0	78,5	-
Concreto Poroso com 40cm de Armazenamento	-	85,1
Concreto vazado preenchido com areia	-	77,8
Concreto Poroso com 9cm de Armazenamento	-	93,7

Fonte: Adaptado Bean et al (2007) e Damodaram et al (2010).

### 3.10 SOFTWARE HEC-HMS

As formulações matemáticas dos diversos modelos hidrológicos que podem ser aplicados em um estudo de transformação chuva-vazão podem resultar em erros de manipulação dos elementos, portanto, a utilização de softwares específicos auxilia na utilização dos dados e diminui as chances de erros. Dentre várias plataformas, pode-se utilizar a plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*) que foi desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*U.S Army Corps of Engineers*) e é disponibilizada gratuitamente. Para o estudo da transformação chuva-vazão em bacias hidrográficas, é utilizado o módulo HMS (*Hydrologic Modeling System*), que possibilita a estimativa do escoamento superficial por meio de modelos utilizados em hidrologia (GRACIOSA, 2010).

O modelo HEC-HMS utiliza modelagem semi-distribuída, utilizando sub-bacias e características do canal. O HEC-HMS atua com diversos modelos, incluídos o SCS, número de chuva, entre outros (SKHAKHFA, 2016). O HEC-HMS usa sistemas que englobam as perdas, simulação precipitação-escoamento e análise de dados meteorológicos, permitindo determinar o volume de escoamento da bacia (MOKHTARI, 2016).

O HEC-HMS descreve a bacia hidrográfica em uma rede de sub-bacias conectadas por canais. A elaboração do modelo no software é a configuração da bacia hidrográfica através dos seguintes elementos: Bacia (*basin*), trecho (*reach*), junção (*junction*), transformação da precipitação em vazão (*transform*) e perdas (*loss*) (DECINA e BRANDÃO, 2016; LEHBAB-BOUKEZZI et al., 2016).

Estudos utilizando o Software HEC-HMS verificaram o auxílio da aplicação de rotinas no processo de transformação chuva-vazão, principalmente nos locais de escassez de dados hidrológicos para calibração das bacias (IBRAHIM-BATHIS E AHMED, 2016; DARIANE et al., 2016). Ibrahim-Bathis e Ahmed (2016) apresentaram um estudo sobre a bacia Doddahalla na Índia, onde concluíram que a associação correta da ferramenta HEC-HMS com o SCS-CN resulta em dados de ótima simulação quando comparados com os dados de série histórica utilizados.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia em estudo, com área de 22,17 km<sup>2</sup>, localiza-se no município de Presidente Kennedy, sul do Espírito Santo, composta por pelo Córrego do Arroz e seu afluente que integram a bacia do Rio Itabapoana, a bacia hidrográfica está localizada na porção leste do município. A Bacia do Córrego do Arroz pode ser vista na Figura 8 e na Figura 9.

Figura 8 - Foto da Área da Bacia do Córrego do Arroz



Fonte: Autor (2018).

Figura 9 - Foto da Área da Bacia do Córrego do Arroz



Fonte: Autor (2018).

Presidente Kennedy possui 16 km de litoral com ocorrência de diversas formas naturais características, tais como, restinga, manguezal e a mata atlântica. O uso econômico do litoral do município está previsto em legislação, sendo que em 2000 foi autorizada pelo governo do Estado do Espírito Santo a criação do Distrito Industrial de Praia das Neves. Posteriormente, o município legislou sobre o uso e ocupação do solo e criou seis macrozonas, em destaque a Macrozona Especial, conforme o artigo 62 da lei 1379/2018 do município de Presidente Kennedy. (ESPÍRITO SANTO, 2000; PRESIDENTE KENNEDY, 2018).

*“Art. 62 A Macrozona Especial corresponde ao território dotado parcialmente de infraestrutura, com baixa densidade de ocupação e com destinação específica para atividades industriais, portuárias e de apoio a estas, respeitadas as limitações relativas às interferências ambientais, paisagísticas, histórico-culturais e turísticas.” Lei 1379/2018 – Município de Presidente Kennedy.*

#### 4.2 PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE PRESIDENTE KENNEDY

O município de Presidente Kennedy, por meio de seus legisladores e gestores municipais instituiu o Plano Diretor do Município pelo meio da Lei Municipal 1.379 de 2018. O pressuposto inicial da lei, descrito em seu primeiro artigo refere-se:

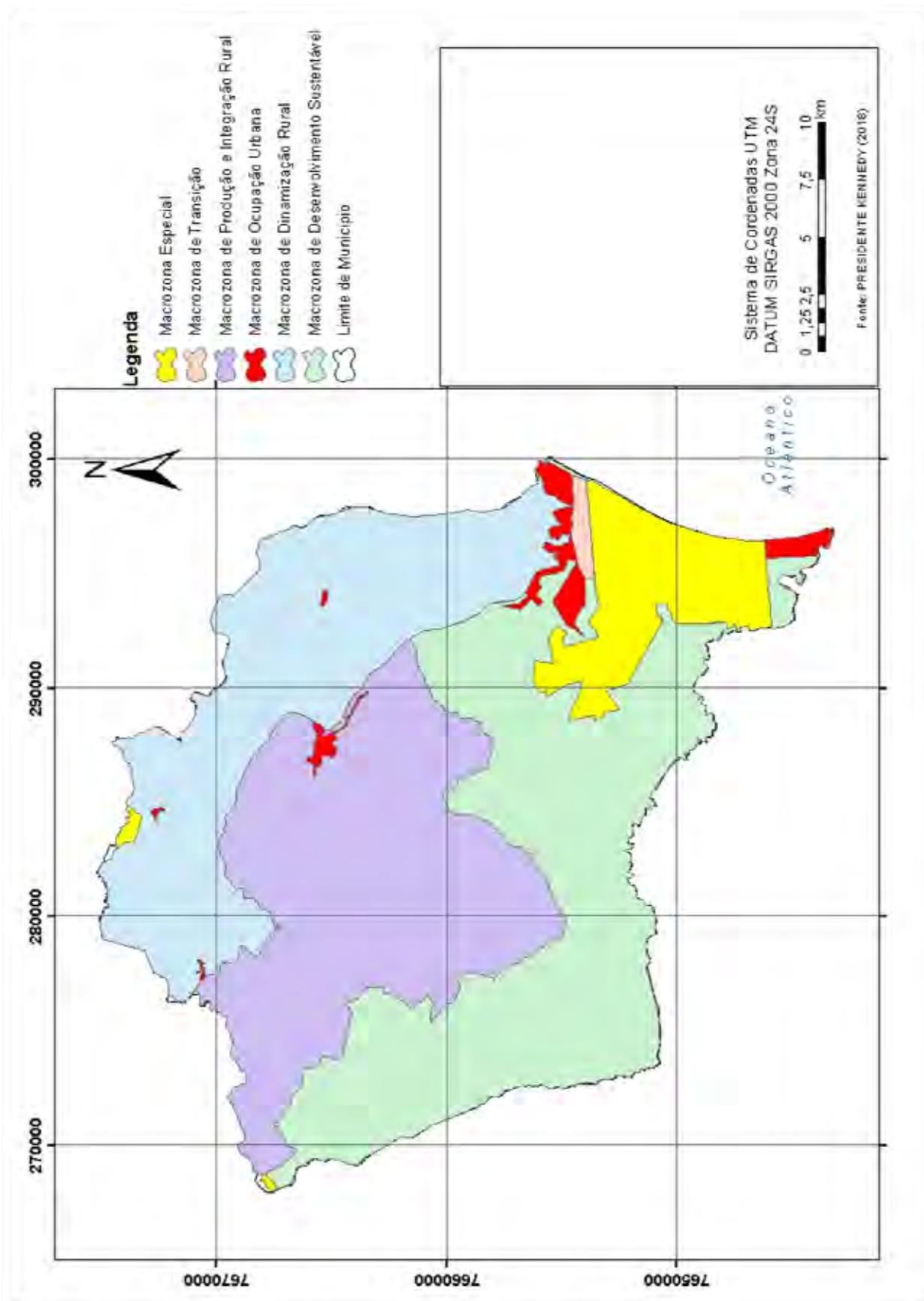
*“A organização do espaço territorial do município de Presidente Kennedy, incluindo o meio urbano e rural, visando alcançar o desenvolvimento sustentável, obedecerá ao disposto neste Plano Diretor.”*

Os temas prioritários apresentados no plano diretor (PD) são: Desenvolvimento Territorial; Patrimônio Ambiental; Patrimônio Histórico e Arquitetônico; Mobilidade e Acessibilidade; e Desenvolvimento Econômico e Regional. Para atender de melhor forma os temas prioritários do PD, o município foi dividido em seis macrozonas de uso e ocupação do solo. As macrozonas foram definidas da seguinte forma:

- Macrozona de Ocupação Urbana – abrange o território com maior densidade ou potencial de ocupação, apresentando rede de infraestrutura urbana, principais eixos viários e melhor oferta de comércio e serviços;
- Macrozona Especial – território dotado parcialmente de infraestrutura, baixa densidade de ocupação e com destinação específica para atividades industriais, portuárias e de apoio a estas, respeitadas as limitações relativas às interferências ambientais, paisagísticas, histórico-culturais e turísticas;
- Macrozona de Transição – ambientada entre as Macrozonas Especial e a de Ocupação Urbana, com potencial para se tornar uma área que amortize os impactos das atividades industriais sobre as áreas residenciais;
- Macrozona de Dinamização Rural – Compostas pelas Localidades de Cacimbinha e Boa Esperança, composta por territórios dentro ou fora do perímetro urbano, com presença de maioria de comunidades rurais e presença de ocupações com perfil urbano e potencial rural;
- Macrozona de Produção e Integração Rural – Território com predominância rural, com remanescentes florestais e com infraestrutura e acessibilidade deficientes;
- Macrozona de Desenvolvimento Sustentável – engloba as áreas de interesse ambiental e cultural, tais como alagados, restingas, remanescentes florestais e o principal Patrimônio Histórico e Cultural do município (Igreja das Neves).

A Figura 10 apresenta a alocação das Macrozonas no Município de Presidente Kennedy.

Figura 10 - Macrozonas do Município de Presidente Kennedy



Fonte: Autor (2019).

### 4.3 PORTO CENTRAL

O Porto Central encontra-se localizado no município de Presidente Kennedy – ES, cuja área foi identificada como uma das três áreas prioritárias pelo PGO – Plano Geral de Outorgas, da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), para a instalação de portos, no estado do Espírito Santo.

As características, localização e implantação do Porto Central atendem a diversas condições impostas pela ANTAQ para implementação de novos portos na Costa Brasileira. Dessas condições pode-se destacar as seguintes:

- ✓ Acessos Multimodais;
- ✓ Altura de ondas favorável;
- ✓ Área de implantação do empreendimento não atinge Unidades de Conservação ou Áreas de Amortecimento;
- ✓ A localização do Porto Central dista mais de 30 km de Porto Público, com distância aproximada de 130 km.

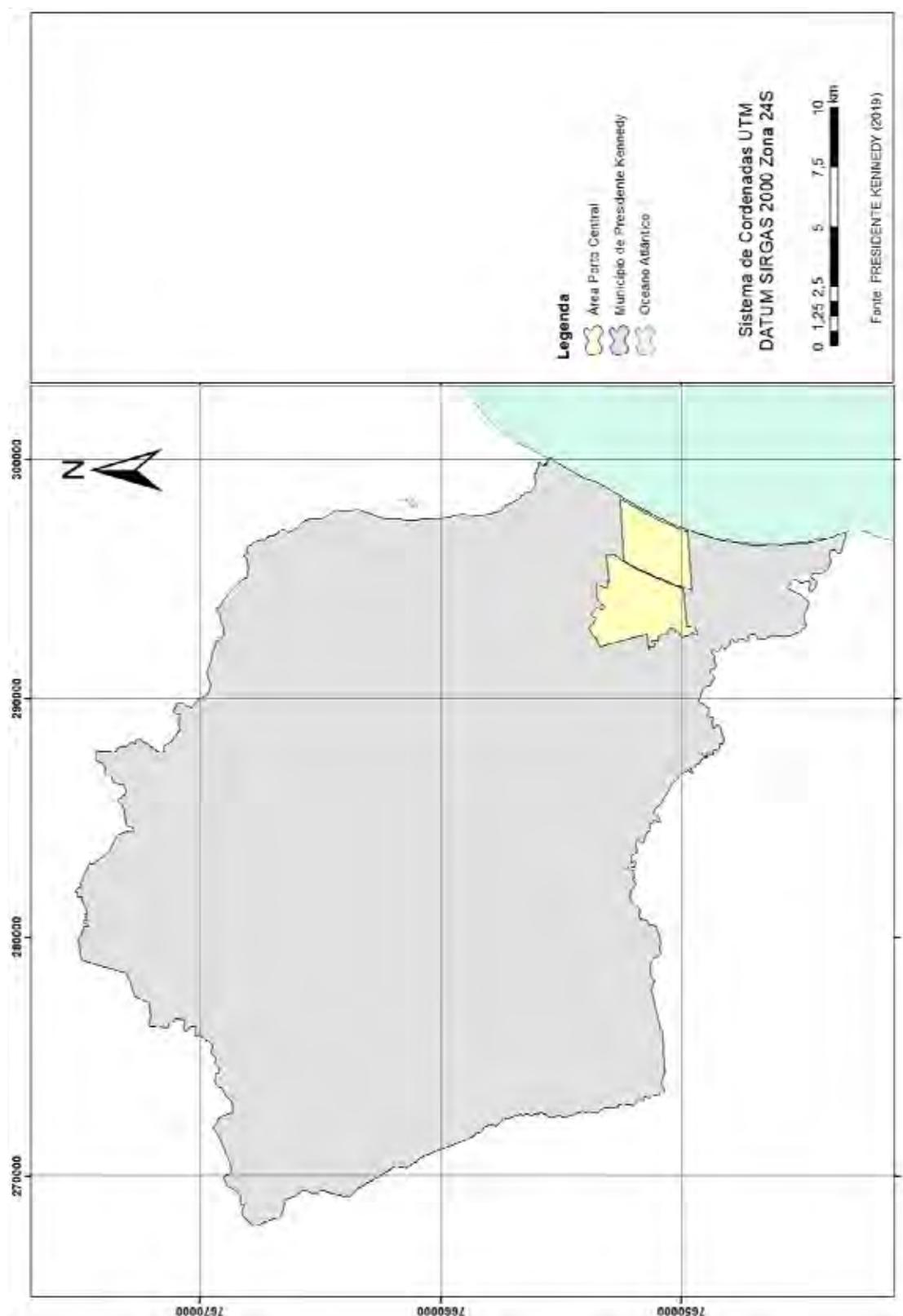
O Porto Central é previsto como um empreendimento Portuário de Multiuso, sob o regime condominial, com ocupação portuária abrangendo uma área total de cerca de 1.500 ha com capacidade para chegar a 2.200 ha. O delineamento final já é apresentado nos *layouts* constantes do item 2 deste Estudo de Impacto Ambiental (EIA), já com as divisões das áreas do condomínio.

Conforme descrito no EIA do Porto Central, “O Porto Central será um empreendimento portuário de multiuso que funcionará sob o regime de condomínio, envolvendo diversas empresas. Essas empresas ocuparão e desenvolverão os seus trabalhos em terminais específicos relativos às suas respectivas áreas de atuação. Cada terminal será formado por pátio e/ou galpão de estocagem de cargas com áreas de movimentação das mesmas, escritórios, cais e berços de atracação com modernos equipamentos de carregamento/descarregamento de navios, dentre outros”. (PORTO CENTRAL, 2013). A localização do Porto Central pode ser vista na Figura 11.

O Layout do Porto Central prevê diversos tipos e áreas que comporão o condomínio portuários, que são: Administração; Área de Apoio; Heliporto; Cais de Rebocadores; Terminal de Derivativos; Terminal de Granéis Líquidos; Pátios de Minérios; Terminais de Cargas Gerais; Terminal de Veículos; Terminal de Contêineres; Pátio de Tubos; Centro de

Defesa Ambiental; Estaleiros; Terminal de grãos e Terminal de Fertilizantes, conforme alocação demonstrada na Figura 12.

Figura 11 - Mapa de Localização do Porto Central



Fonte: Autor (2019).

Figura 12 - Layout de Implantação do Porto Central



Fonte: Porto Central (2013).

O EIA do Porto Central descreve que dentre os principais potenciais impactos nas fases de implantação e operação portuária estão à expansão urbana desordenada e a atração/expansão de empreendimentos. O estudo descreve que a expansão urbana senão ocorrer com os atores públicos e privados atuando na sua regulação, pode resultar em maiores custos para implantação de obras para sanar a necessidade da população, assim como a implantação do sistema portuário irá exercer a implantação de investimentos na área da indústria, comércio e serviços de abrangência regional (PORTO CENTRAL, 2013).

*“Porto Central possui características de um Porto Indústria, constituindo-se num agente propulsor do desenvolvimento econômico regional e nacional, haja vista a diversidade das tipologias industriais e de serviços a serem instaladas no âmbito deste empreendimento. Logicamente que para consecução de tais resultados, o empreendimento Porto Central, considera a vinda de novos investimentos públicos já divulgados, sobretudo no que se refere à área de logística de transporte, cujos empreendimentos constituir-se-ão em conexões indispensáveis, a médio e longo prazo, para suas atividades. Dentre tais empreendimentos, citam-se: as ferrovias federais EF 354 (Transcontinental) e Ferrovia Centro-Atlântica (Vitória ao Rio), a duplicação da BR 101, a construção da rodovia ES- 297, e projetos de melhorias na malha viária existente.”* (PORTO CENTRAL, 2013).

A previsão apresentada no EIA é que as vias principais do Porto Central serão pavimentadas com Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e os pátios de estocagem deverão ser pavimentados com blocos de concreto ou paralelepípedos. O sistema de drenagem prevê 09 (nove) emissários que serão destinados ao longo dos canais e no mar.

#### 4.4 PRECIPITAÇÃO

A precipitação média anual no município de Presidente Kennedy é 850 mm, com grande variação, porém com predominância de valores entre 900 a 1000 mm anual. Os meses mais chuvosos compreendem o período de novembro a janeiro (INCAPER, 2011).

Para a análise das chuvas da região, foram coletadas dadas de chuvas do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e estudadas as estações pluviométricas nas proximidades da área de estudo, conforme Quadro 11.

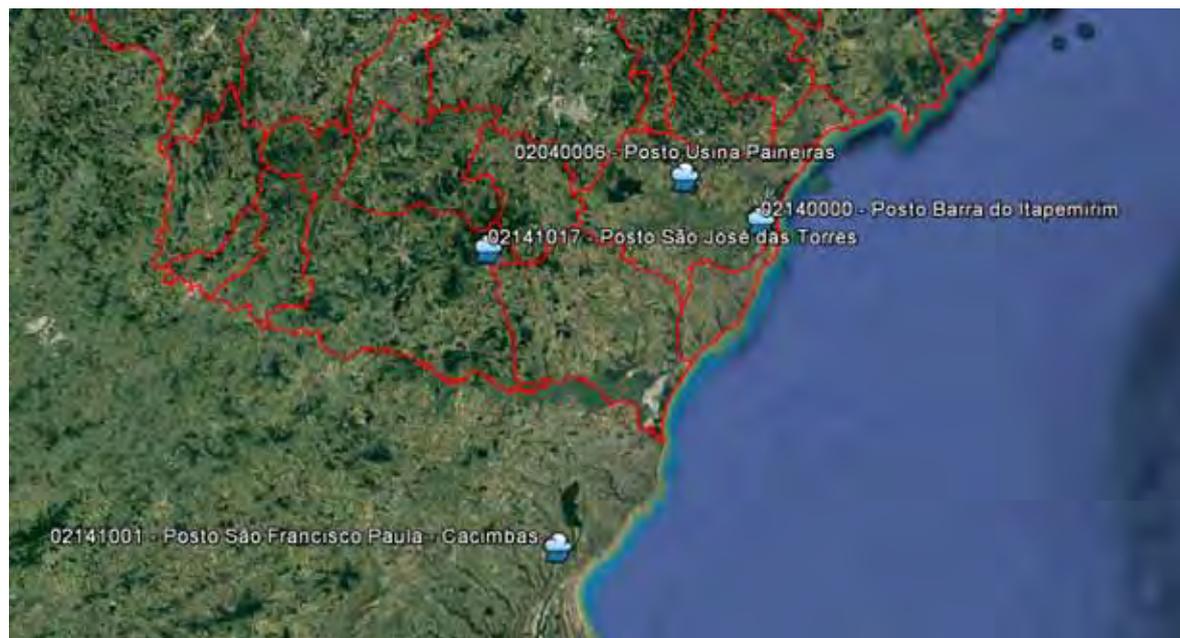
Quadro 11 - Estações Pluviométricas

	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>COD</b>	<b>PERÍODO</b>
<b>Usina Paineiras</b>	-20°57'10"	-40°57'12"	02040006	1947 a 2011
<b>Barra do Itapemirim</b>	-21°0'27"	-40°50'07"	02140000	1947 a 2011
<b>São José das Torres</b>	-21°04'23"	-41°14'18"	02141017	1969 a 2016
<b>São Francisco Paula - Cacimbas</b>	-21°28'58"	-41°06'12"	02141001	1973 a 2016

Fonte: ANA (2018).

As estações pluviométricas do quadro anterior estão apresentadas Figura 13 para melhor visualização da localização de cada uma.

Figura 13 - Localização das Estações Pluviométricas



Fonte: Adaptado ANA (2018) e Google Earth (2018).

Para o tempo de concentração optou-se por utilizar a equação de Kirpich pois apresentou bons resultados nos dois trabalhos.

#### 4.5 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS

A pedologia da bacia caracteriza-se por solos pouco desenvolvidos, mediantemente profundos, de má drenagem e fertilidade natural associados a depósitos de matéria orgânica e sedimentos fluviais, além da ocorrência de solos desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos, que apresenta caráter arenoso, sendo porosos, de alta profundidade e excessivamente drenados. O relevo é constituído de planície flúvio-marinha próximo ao exutório e tabuleiros, com alguns pontões, no ponto mais a montante da bacia (INCAPER, 2011).

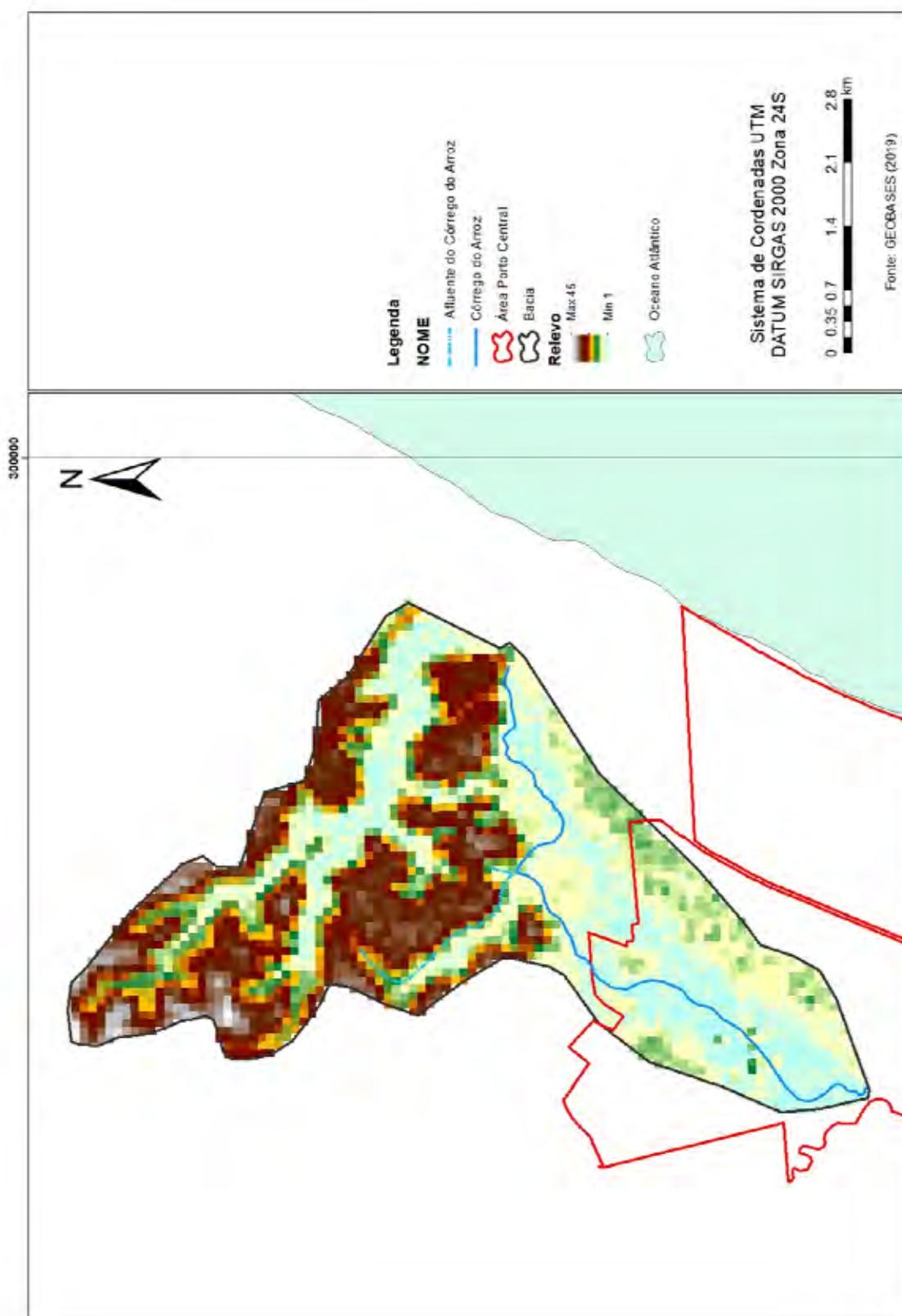
Originalmente, a ocupação do solo era realizada em grande maioria por Floresta de Tabuleiro, integrante da Mata Atlântica juntamente com vegetação de restinga no litoral da bacia, contudo ocorreram grandes desmatamentos, resultando atualmente em grandes áreas ocupadas por pastagens e agriculturas, principalmente por lavoura de cana de açúcar (INCAPER, 2011)..

As características fisiográficas da bacia, tais como relevo e uso ocupação do solo, foram obtidas por meio de *shapefiles* pelo Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) e pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA). Para complementação das características do uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens do Bing através da ferramenta de *Geolocation*, do *software* Civil 3D desenvolvido pela Autodesk, assim como as imagens fornecidas pelo IEMA. O processamento dos arquivos foi realizado

com do *software* ArcGIS 10.1, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI).

As áreas, comprimentos de talvegue e declividade da bacia global e sua sub-bacia foram obtidas a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), através de ferramentas fornecidas pelo ArcGIS. O MDE da bacia encontra-se na Figura 14.

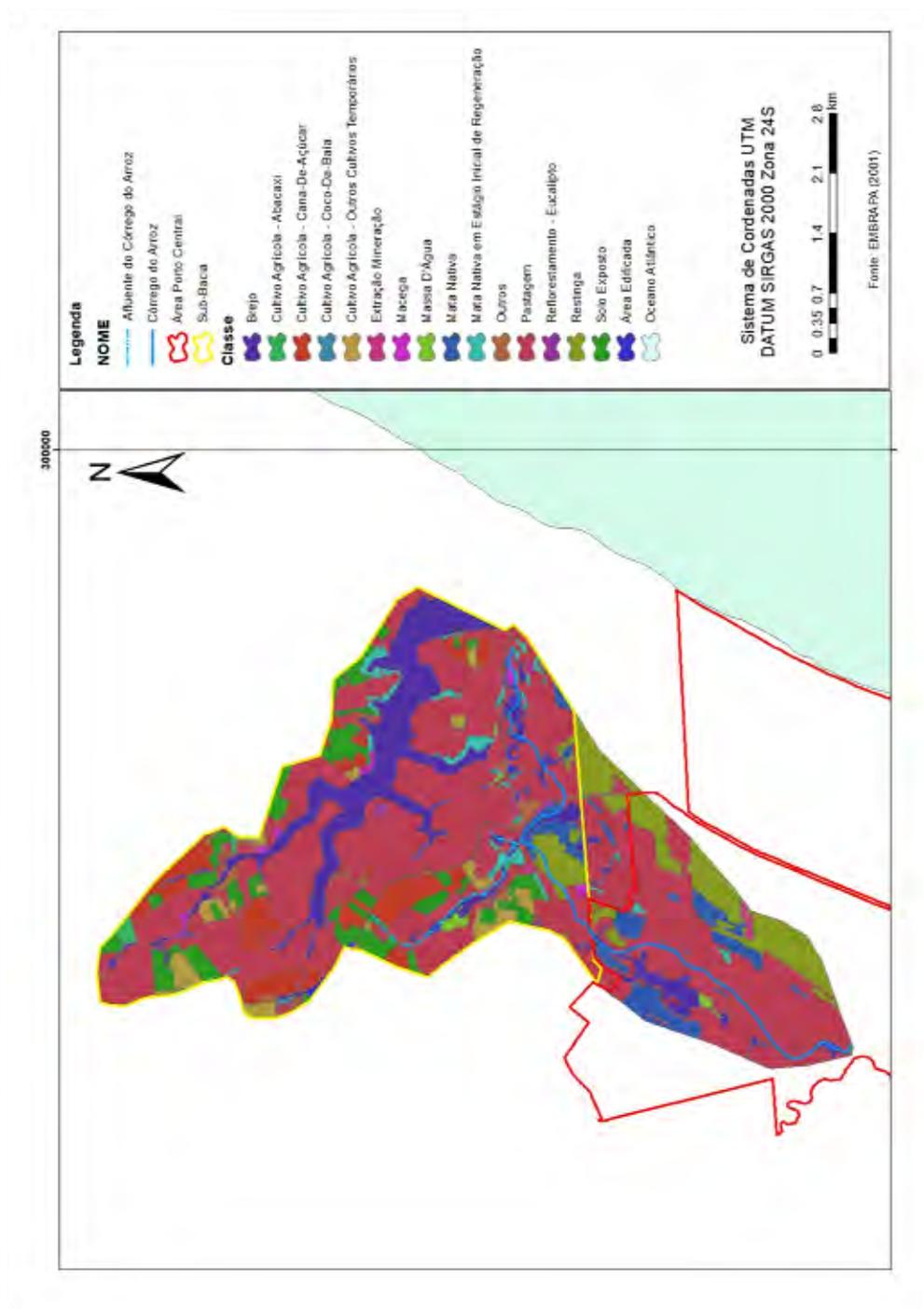
Figura 14 - Modelo Digital de Elevação (MDE) da Bacia



Fonte: Autor (2019).

A Macrozona especial é a área destinada a receber os empreendimentos de características portuárias e industriais predominantes, dessa forma foi delimitada uma sub-bacia entre o início da faixa da macrozona especial até a montante da bacia, para que seja possível analisar da melhor forma o impacto da urbanização da provável zona da retroárea do porto central. A Figura 15 demonstra o uso e ocupação do solo atuais para a Bacia e para sua sub-bacia.

Figura 15 – Uso e ocupação do solo nas Macrozonas por Sub-bacia



Fonte: Autor (2019).

O Quadro 12 sintetiza o uso e ocupação do solo das macrozonas.

Quadro 12 - Uso e Ocupação do Solo das Bacias por Macrozona

Macrozona	Uso e Ocupação do Solo - Áreas Ocupadas em Hectare por Macrozona											
	AE	B	CP	CT	A	MN	MNR	O	P	R	S	Total
<b>Sub-bacia 01</b>												
<b>Ocupação Urbana</b>	3,265	3,481	0,949	51,488	1,347	0,055	7,383	13,281	215,372	-	35,196	331,817
<b>Dinamização Rural</b>	-	211,575	-	100,919	-	-	28,883	10,923	419,775	-	89,155	861,230
<b>Desenvolvimento Sustentável</b>	0,514	11,645	-	49,241	4,340	-	3,164	1,427	90,393	0,032	15,584	176,339
<b>Transição</b>	3,199	23,861	0,781	-	-	22,367	4,880	6,697	108,184	32,066	-	202,036
<b>Total</b>	<b>6,979</b>	<b>250,561</b>	<b>1,730</b>	<b>201,648</b>	<b>5,686</b>	<b>22,422</b>	<b>44,310</b>	<b>32,328</b>	<b>833,725</b>	<b>32,098</b>	<b>139,935</b>	<b>1.571,421</b>
<b>Bacia</b>												
<b>Ocupação Urbana</b>	3,265	3,481	0,949	51,488	1,347	0,055	7,383	13,281	215,372	-	35,196	331,817
<b>Dinamização Rural</b>	-	211,575	-	100,919	-	-	28,883	10,923	419,775	-	89,155	861,230
<b>Especial</b>	-	34,771	-	-	2,769	61,540	4,200	4,533	378,668	144,257	-	630,738
<b>Transição</b>	3,199	23,861	0,781	-	-	22,367	4,880	6,697	108,184	32,066	-	202,036
<b>Desenvolvimento Sustentável</b>	0,514	11,645	-	49,241	4,521	-	3,164	1,427	103,425	1,435	15,584	190,955
<b>Total</b>	<b>6,979</b>	<b>285,33</b>	<b>1,73</b>	<b>201,65</b>	<b>8,64</b>	<b>83,96</b>	<b>48,51</b>	<b>36,86</b>	<b>1.225,42</b>	<b>177,76</b>	<b>139,93</b>	<b>2.216,78</b>

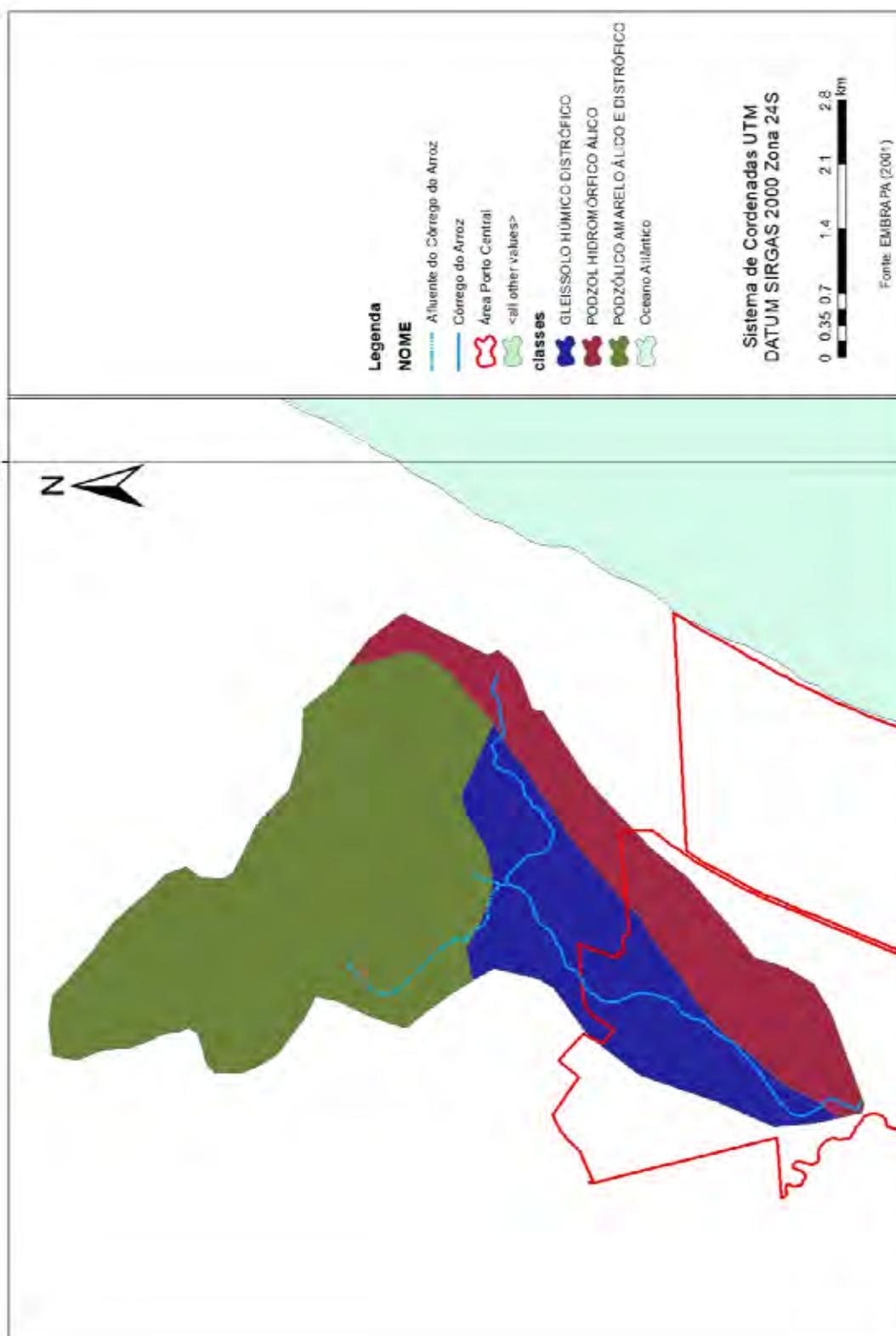
**Legenda**

AE	Área Edificada	MNR	Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração
B	Brejo	P	Pastagem
CT	Cultivo Temporário	O	Outros
CP	Cultivo Permanente	S	Solo Exposto
MN	Mata Nativa	A	Água
R	Restinga		

Fonte: Autor (2019).

A pedologia da bacia, conforme destacado na Figura 16, apresenta solos de baixa capacidade de drenagem, pois os argissolos são compostos basicamente de argilas, os espodossolos caracterizam-se por serem ricos em matéria orgânica e os gleissolos possuem propriedade de uma massa pastosa de solo. (EMBRAPA, 2018).

Figura 16 - Posologia da Bacia



Fonte: EMBRAPA (2018), adaptado pelo Autor (2019).

#### 4.6 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Para efeito de comparação das vazões, o estudo irá verificar as mudanças nos picos de vazões com as mudanças de cenário de acordo com o processo de urbanização da área das bacias e a aplicação ou não de técnicas de sistema de drenagem sustentável. O processo de urbanização será orientado pelas informações obtidas junto ao empreendedor e órgãos competentes envolvidos no processo e os dados de uso e ocupação de solo de retroáreas serão extraídos de referências bibliográficas. Assim, são propostos os três cenários a seguir:

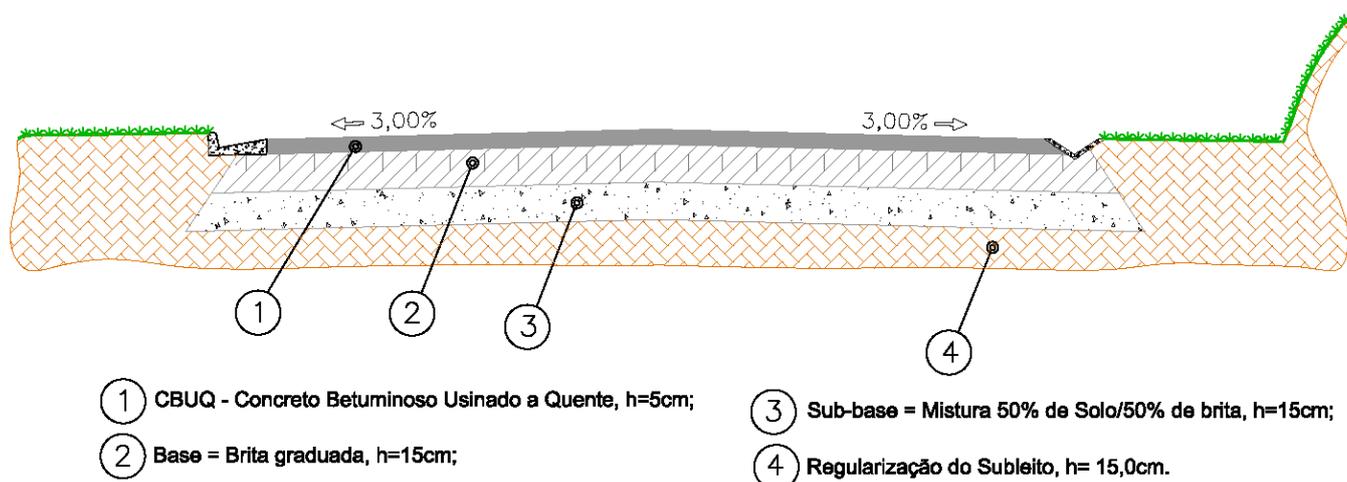
- ✓ **Cenário 01** – Situação atual da bacia relacionado ao uso e ocupação do solo;
- ✓ **Cenário 02** – Bacias completamente urbanizada decorrida da implantação do porto.
- ✓ **Cenário 03** – Bacias urbanizada após 10 anos da implantação do porto.

Nos cenários 02 e 03 foram realizadas considerações para três hipóteses:

- Hipótese 01 - Não utilização de sistemas compensatórios de drenagem;

Nessa hipótese a urbanização será realizada de forma tradicional que ocorre no município com pavimentação impermeabilizante e sistemas de drenagem convencionais. A estrutura usual de pavimentação na região está demonstrada na Figura 17.

Figura 17 - Estrutura Típica de Pavimentação



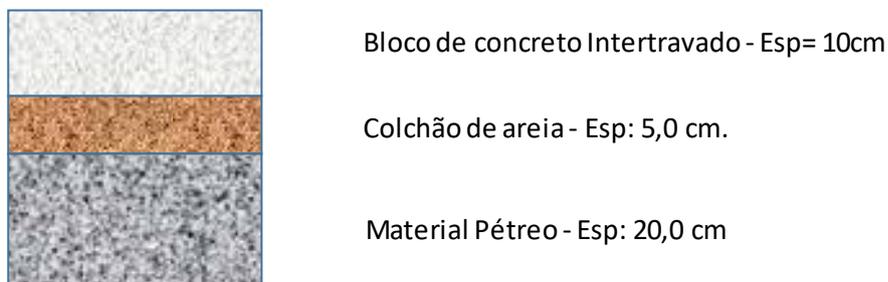
Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Kennedy (2019).

- Hipótese 02 – Utilização de sistemas compensatórios de drenagem – Pavimento Permeável;

Na hipótese 02 a urbanização foi considerada com a utilização do pavimento permeável, sendo adaptada a solução analisada por Bean et al (2007), substituído o bloco intertravado de concreto

com espessura de 9,00cm para bloco com espessura de 10,0cm, adaptando-se a NBR 16416. A solução resultante dessa alteração está demonstrada na Figura 18.

Figura 18 - Estrutura do Pavimento Permeável



Fonte: Bean et al (2007) adaptado pelo Autor (2019).

- Hipótese 03 - Utilização de sistemas compensatórios de drenagem – Barragem de Detenção.

A hipótese 03 é urbanização conforme a hipótese 01, contudo sendo utilizado uma bacia de detenção para realizar a manutenção da vazão no exutório com uso e ocupação do solo atual. A posição do barramento pode ser identificada na Figura 19.

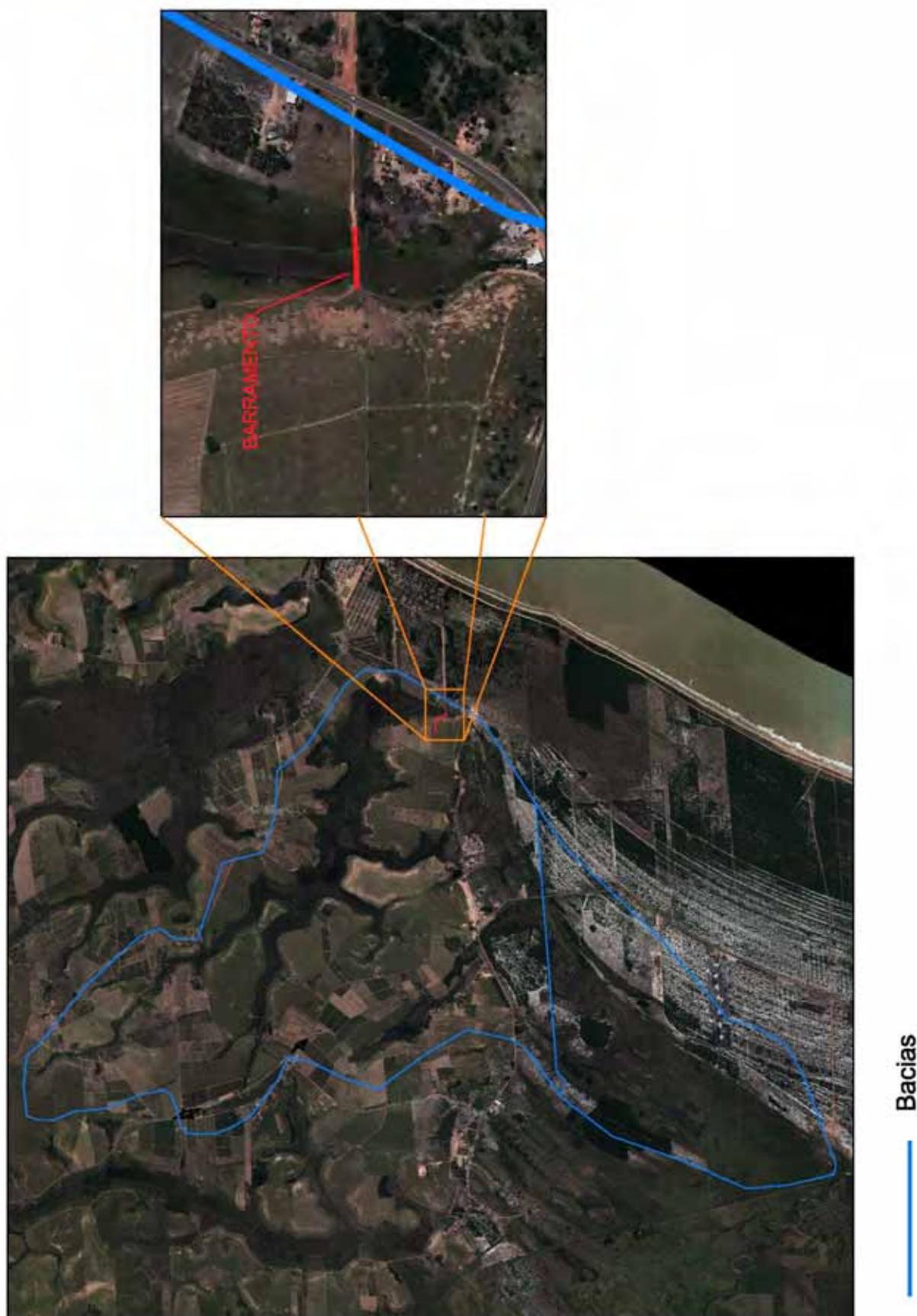
A utilização do software HEC-HMS na simulação hidrológica com o barramento foi realizada com a obtenção das condições cota x volume (cota barramento e volume de água reservada), conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 - Condições de Cota x Volume Acumulado para o Barramento

Elevação (m)	Volume (1000m <sup>3</sup> )
0	2,55
1	12,85
2	42,35
3	132,5
4	351,9
5	455,3
6	902,5
7	1605

Fonte: Autor (2019).

Figura 19 - Posição Barramento



Fonte: Autor (2019).

Para cada cenário, a estimativa de vazões será realizada através de simulações hidrológicas para períodos de retorno de 15 e 25 anos, conforme sintetizado na Figura 20.

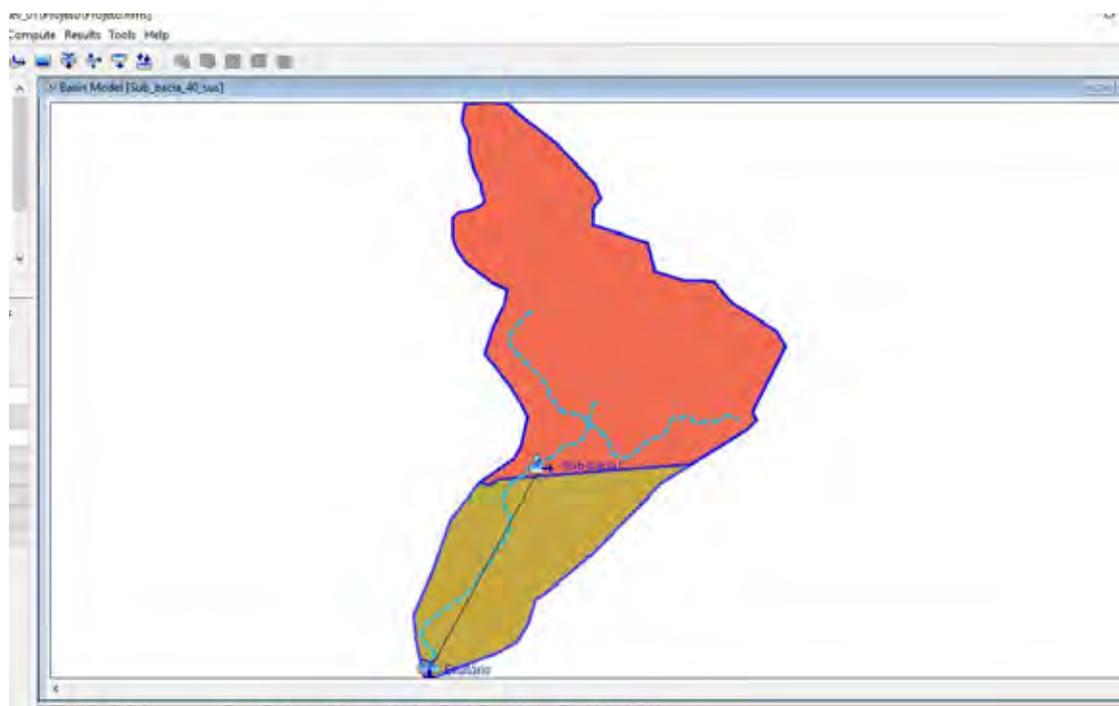
Figura 20 - Cenários de Simulação



Fonte: Autor (2019).

A Figura 21 demonstra os locais onde as vazões serão avaliadas.

Figura 21 - Bacias Modeladas no HEC-HMS



Fonte: Autor (2019).

#### 4.7 CONFORMAÇÃO DOS CENÁRIOS

##### **CENÁRIO 01**

O cenário 01 corresponde a situação atual das bacias, portanto serão utilizadas na simulação hidrológica as condições atuais de uso e ocupação do solo, conforme o Quadro 12 no capítulo 4.5.

##### **CENÁRIO 02**

O cenário 02 corresponde à urbanização total conforme referenciado no Plano Diretor Municipal (PDM) que delimitou as condições de urbanização do município, determinando as taxas máximas de ocupação dos lotes e a taxa mínima permeável, conforme o Quadro 13.

Quadro 13 - Condições de Urbanização de acordo com o PDM

Macrozona	Taxas	
	Ocupação	Permeável
Ocupação Urbana	70%	15%
Especial	50%	20%
Transição	70%	15%

Fonte: Autor (2019).

O PDM definiu que as áreas públicas (vias de circulação, equipamentos comunitários e praças) para as Macrozonas de Ocupação Urbana, Especial e Transição deverão corresponder no mínimo a 35% da área da Macrozona, sendo 25% para vias, 5% para equipamentos comunitários e 5% para praças.

As Macrozonas de Dinamização Rural, Produção e integração Rural e Desenvolvimento Sustentável foram concebidas no PDM de forma a manutenção das áreas como estão atualmente, não permitindo o aumento da gleba urbana.

A equação 10, apresenta a conceituação para obtenção das áreas de lotes para as macrozonas de Ocupação Urbana, Especial e Transição.

$$A_{Pot} = \text{Área}_{macrozona} - \text{Área}_{Preservação} \quad (10)$$

Onde:

$\text{Área}_{Pot}$  – Área com Potencial de Urbanização;

$\text{Área}_{Macrozona}$  – Área Macrozona Correspondente;

$\text{Área}_{Preservação}$  – Área de Mata Nativa e Mata Nativa em estágio Inicial de Regeneração.

$$A_{Urbanizada} = \text{Área}_{Pot} - \text{Área}_{Pot}(X_1 + X_2 + X_3) \quad (11)$$

Onde:

$\text{Área}_{Urbanizada}$  – Área com lotes;

$\text{Área}_{Macrozona}$  – Área Macrozona Correspondente;

$X_1$  – Vias;

$X_2$  – Equipamentos Comunitários;

$X_3$  – Praças;

A área ocupada com edificações será obtida pela expressão (12)

$$\text{Área}_{Ocupada} = A_{Urbanizada} \times \text{Taxa de Ocupação} \quad (12)$$

$\text{Área}_{Ocupada}$  – Área dos lotes com edificação;

$\text{Área}_{Urbanizada}$  – Área com lotes;

Taxa de Ocupação – Taxa de Ocupação para cada Macrozona.

A área permeável dos lotes será obtida pela expressão (13)

$$\text{Área}_{\text{Permeável}} = A_{\text{Urbanizada}} \times \text{TaxaPermeável} \quad (13)$$

Área Ocupada – Área dos lotes com edificação;

ÁreaUrbanizada – Área com lotes;

Taxa de Ocupação – Taxa de Ocupação para cada Macrozona.

A área remanescente será a subtração entre a área urbanizada e a soma da área ocupada e a área permeável.

$$\text{Área}_{\text{Remanescente}} = A_{\text{Urbanizada}} - (A_{\text{ocupada}} + \text{Área}_{\text{Permeável}}) \quad (14)$$

Na Macrozona Especial, por tratar-se de áreas indicadas de desenvolvimento da região e de apoio aos empreendimentos esperados para a região, terá sua área remanescente considerada para pátios e estacionamentos, nas demais macrozonas as áreas remanescentes foram consideradas impermeáveis.

Nas macrozonas com características rurais o procedimento de obtenção das áreas de contribuição será realizado através do conhecimento de áreas de vias, áreas de proteção ambiental e área de produção agrícola. Para a área de vias foi adotado de forma análoga às condições das demais macrozonas utilizando taxa de 25% e para as áreas de proteção ambiental foi utilizado o mapa de uso e ocupação do solo. A área de produção agrícola será determinada pela expressão (15).

$$\text{Área}_{\text{ProduçãoAgrícola}} = A_{\text{Macrozona}} - (A_{\text{Vias}} + \text{Área}_{\text{ZonaAmbiental}}) \quad (15)$$

Dessa forma os cenários 02 e 03 terão as seguintes condições, conforme o Quadro 14.

Quadro 14 - Macrozonas e Condições das Áreas

Macrozona	Áreas							
	OC	P	Remanescente	Vias	Praças	Equi. Público	Proteção Ambiental	Produção Agrícola
Ocupação Urbana	A	A	A	A	A	A	N.A.	N.A.
Especial	A	A	A	A	A	A	N.A.	N.A.
Transição	A	A	A	A	A	A	N.A.	N.A.
Dinamização Rural	N.A.	N.A.	N.A.	A	N.A.	N.A.	A	A
Produção e Integração Rural	N.A.	N.A.	N.A.	A	N.A.	N.A.	A	A

Macrozona	Áreas							
	OC	P	Remanescente	Vias	Praças	Equi. Público	Proteção Ambiental	Produção Agrícola
Macrozona de Desenvolvimento Sustentável	N.A.	N.A.	N.A.	A	N.A.	N.A.	A	A

Uso e Ocupação do Solo	Edificação	Gramado	Impermeável / Vias <sup>(1, 2)</sup>	Vias <sup>(2)</sup>	Edificação	Edificação	Mata Nativa -Estágio de Regeneração	Pasto / Plantações
------------------------	------------	---------	--------------------------------------	---------------------	------------	------------	-------------------------------------	--------------------

1 – Macrozona Especial;

2 – Pavimento tradicional no Hipótese 01 e 03 e Pavimento Permeável na Hipótese 02.

Fonte: Autor (2019).

Quadro 15 - Processo de Urbanização da Bacia por Macrozona

Macrozona	Áreas em Hectare					
	Total	Área Ocupada	Área Permeável	Área Remanescente	Vias	Praças e Equipamentos Comunitários
Ocupação Urbana	331.817	146.979	31.495	31.497	80.758	32.303
Dinamização Rural	861.230	Não se aplica			208.086	Não se aplica
Especial	630.738	124.540	49.816	74.725	95.800	38.320
Transição	202.036	64.939	13.915	13.916	35.680	14.272
Desenvolvimento Sustentável	190.955	Não se aplica			45.458	Não se aplica
<b>Total</b>	<b>2,216.775</b>	<b>336.458</b>	<b>95.226</b>	<b>120.139</b>	<b>465.782</b>	<b>84.895</b>

Fonte: Autor (2019).

Quadro 16 - Processo de Urbanização da sub-bacia 01 por Macrozona

Macrozona	Áreas em Hectare					
	Total	Área Ocupada	Área Permeável	Área Remanescente	Vias	Praças e Equipamentos Comunitários
Ocupação Urbana	331.817	145.396	31.156	31.157	79.887	31.955
Dinamização Rural	861.230	Não se aplica			155.193	Não se aplica
Desenvolvimento Sustentável	176.339	Não se aplica			39.289	Não se aplica

Macrozona	Áreas em Hectare					
	Total	Área Ocupada	Área Permeável	Área Remanescente	Vias	Praças e Equipamentos Comunitários
<b>Transição</b>	202.036	54.082	11.589	11.590	29.715	11.886
<b>Total</b>	<b>1.571.421</b>	<b>199.478</b>	<b>42.745</b>	<b>42.747</b>	<b>304.084</b>	<b>43.841</b>

Fonte: Autor (2019).

Após a elaboração do processo de urbanização, conforme quadros 15 e 16, foi extraído o novo formato de uso e ocupação do solo. As considerações adotadas para as Macrozonas de Ocupação Urbana Especial e Transição foram manter intactas as áreas de Afloramento Rochoso, Mata Nativa, Mata Nativa em Regeneração, Restinga, Brejo e Água. Para a Macrozona Especial a área remanescente foi incorporada a área de vias como sendo destinadas para pátio e estacionamento, nas demais Macrozonas com urbanização as áreas remanescentes foram incorporadas as áreas edificadas.

As demais Macrozonas tiveram mantidas as áreas de Mata Nativa, Mata Nativa em Regeneração, Brejo, Restinga e Água, já a área de Vias determinada pelo PDM foi retirada de forma proporcional dos demais usos. As Tabela 7 e Tabela 8 sintetizam o resultado obtido.

Tabela 7 - Uso e Ocupação do Solo após 100% Urbanização

Macrozona	Uso e Ocupação do Solo - Áreas Ocupadas em Hectare por Macrozona													Total	
	AE	B	CT	CP	A	MN	MNR	O	P	G	R	S	V		E
<b>Sub-bacia 01</b>															
Ocupação Urbana	208,51	3,48	-	-	1,35	0,05	7,38	-	-	31,16	-	-	79,89	-	331,82
Dinamização Rural	-	211,58	-	75,69	-	-	28,88	8,19	314,82	-	-	66,86	155,19	-	861,22
Desenvolvimento Sustentável	0,51	11,64	-	36,89	4,34	-	3,16	1,07	67,72	-	0,03	11,68	39,29	-	176,34
Transição	77,56	23,86	-	-	-	22,37	4,88	-	-	11,59	32,07	-	29,72	-	202,04
<b>Total</b>	<b>286,580</b>	<b>250,561</b>	<b>-</b>	<b>112,579</b>	<b>5,686</b>	<b>22,422</b>	<b>44,310</b>	<b>9,261</b>	<b>382,547</b>	<b>42,745</b>	<b>32,098</b>	<b>78,540</b>	<b>304,084</b>	<b>-</b>	<b>1.571,413</b>
<b>Bacia</b>															
Ocupação Urbana	208,508	3,481	-	-	1,347	0,055	7,383	-	-	31,156	-	-	79,887	-	331,817
Dinamização Rural	-	211,575	-	67,09	-	-	28,88	7,26	279,07	-	-	59,27	208,09	-	861,232
Especial	162,860	34,771	-	-	2,769	61,540	4,200	-	-	49,816	144,257	-	95,80	74,725	630,738
Transição	77,558	23,861	-	-	-	22,367	4,880	-	-	11,589	32,066	-	29,715	-	202,036
Desenvolvimento Sustentável	0,51	11,64	-	36,05	4,52	-	3,16	1,04	75,72	-	1,44	11,41	45,46	-	190,955
<b>Total</b>	<b>449,440</b>	<b>285,332</b>	<b>-</b>	<b>103,139</b>	<b>8,637</b>	<b>83,962</b>	<b>48,510</b>	<b>8,306</b>	<b>354,783</b>	<b>92,561</b>	<b>177,758</b>	<b>70,679</b>	<b>458,946</b>	<b>74,725</b>	<b>2.216,778</b>

Legenda

AE	Área Edificada	MNR	Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração	E	Estacionamento
B	Brejo	P/G	Pastagem/Gramado		
CT	Cultivo Temporário	O	Outros		
CP	Cultivo Permanente	S	Solo Exposto		
MN	Mata Nativa	A	Água		
R	Restinga	V	Vias		

Fonte: Autor (2019).

### CENÁRIO 03

O cenário 03 corresponde à urbanização 10 anos após a implantação do Porto Central Conforme demonstrado na revisão bibliográfica, CHEN e NUO (2013) determinar uma taxa de urbanização de 4,47% enquanto KAWASHIMA et al (2016) verificou uma taxa 3,99% ao ano. Para a determinação da urbanização das sub-bacias será considerada uma taxa de 4,00% ao ano.

Tabela 8 - Uso e Ocupação do Solo após 10 anos Implantação do Porto Central

Macrozona	Uso e Ocupação do Solo - Áreas Ocupadas em Hectare por Macrozona													Total	
	AE	B	CT	CP	A	MN	MNR	O	P	G	R	S	V		E
<b>Sub-bacia 01</b>															
Occupação Urbana	83,40	3,48	0,58	31,21	1,35	0,05	7,38	8,05	130,56	12,46	-	21,34	31,96	-	331,82
Dinamização Rural	-	211,58	-	90,83	-	-	28,88	9,83	377,80	-	-	80,24	62,08	-	861,23
Desenvolvimento Sustentável	0,51	11,64	-	44,30	4,34	-	3,16	1,28	81,32	-	0,03	14,02	15,72	-	176,34
Transição	31,02	23,86	0,48	-	-	22,37	4,88	4,13	66,71	4,64	32,07	-	11,89	-	202,04
<b>Total</b>	<b>114,942</b>	<b>250,561</b>	<b>1,057</b>	<b>166,339</b>	<b>5,686</b>	<b>22,422</b>	<b>44,310</b>	<b>23,295</b>	<b>656,385</b>	<b>17,097</b>	<b>32,098</b>	<b>115,595</b>	<b>121,633</b>	-	<b>1.571,421</b>
<b>Bacia</b>															
Occupação Urbana	83,404	3,481	0,575	31,212	1,347	0,055	7,383	8,051	130,557	12,462	-	21,336	31,955	-	331,817
Dinamização Rural Especial	-	190,42	-	90,83	-	-	28,88	9,83	377,80	-	-	80,24	83,23	-	861,230
Transição	31,024	23,861	0,482	-	2,769	61,540	4,200	2,720	227,201	19,926	144,257	-	38,32	29,891	630,738
Desenvolvimento Sustentável	0,51	11,64	-	43,96	4,52	-	3,16	1,27	92,34	-	1,44	13,91	18,18	-	190,955
<b>Total</b>	<b>180,086</b>	<b>264,174</b>	<b>1,057</b>	<b>166,003</b>	<b>8,637</b>	<b>83,962</b>	<b>48,510</b>	<b>26,005</b>	<b>894,604</b>	<b>37,023</b>	<b>177,758</b>	<b>115,489</b>	<b>183,578</b>	<b>29,891</b>	<b>2.216,775</b>

Legenda

AE	Área Edificada	MNR	Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração	E	Estacionamento
B	Brejo	P/G	Pastagem/Gramado		
CT	Cultivo Temporário	O	Outros		
CP	Cultivo Permanente	S	Solo Exposto		
MN	Mata Nativa	A	Água		
R	Restinga	V	Vias		

Fonte: Autor (2019).

## 4.8 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica será realizada utilizando a planilha de preços de referência do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo (DER-ES), que comporta os itens necessários a análise.

A análise irá comparar a utilização de pavimentos permeáveis e a barragem de terra para o amortecimento do fluxo de águas pluviais, como o intuito é a redução do fluxo de drenagem de forma similar, o custo para a execução das redes de microdrenagem não é necessário estimar, pois teriam o mesmo custo. A formulação da proposta de análise econômica está sintetizada no Quadro 17.

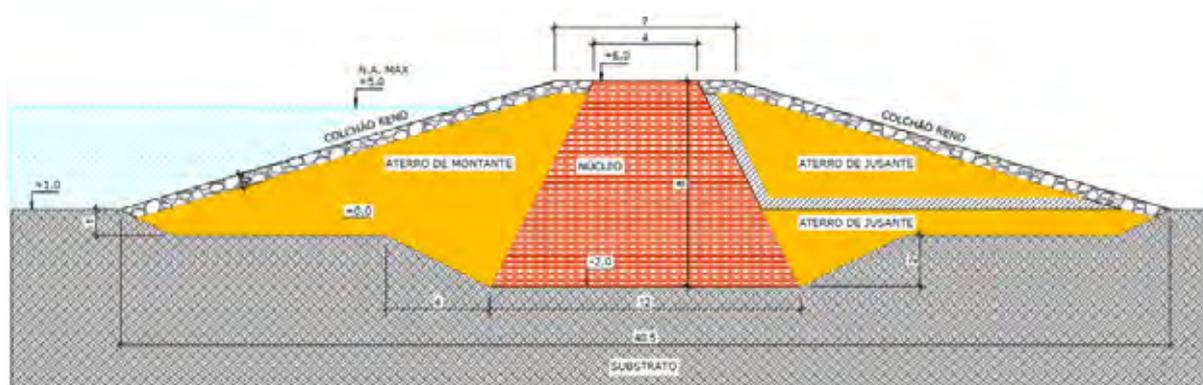
Quadro 17 - Formulação Análise Econômica

<b>Opção 01</b>	<b>Opção 02</b>
Pavimento Permeável	Pavimento Tradicional
	Barragem de Terra

Fonte: Autor (2019).

A mensuração do custo dos pavimentos será realizada utilizando a estrutura de pavimentos demonstrados na Figura 17 e Figura 18, para o caso da barragem serão utilizados os orçamentos realizados pela PMPK para a construção de duas barragens de terra no município de Presidente Kennedy nas localidades de Caetana e Fazendinha, que possuem estruturas semelhantes, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Seção Típica de Barramento



Fonte: PMPK (2018).

A Tabela 9 sintetiza os custos e as características das barragens projetadas pela PMPK.

Tabela 9 - Custos e Características Barragens de Terra

<b>Barragem</b>	<b>Custo</b>	<b>Altura Barramento</b>	<b>Extensão Barramento</b>	<b>Custo Total / (Altura x Extensão)</b>
Caetana	R\$ 2.985.335,25	8	136	R\$ 2.743,87
Fazendinha	R\$ 3.783.323,38	10	192	R\$ 1.970,48
<b>Média</b>	<b>R\$ 3.384.329,32</b>			<b>R\$ 2.357,18</b>

Fonte: PMPK (2018) adaptado pelo Autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Após a urbanização nos cenários considerando a utilização de pavimentos permeáveis foi utilizado o valor de CN 44, apresentado por Bean et al (2017). Nas simulações com pavimento tradicional o valor CN para obtenção da média foi 98. As áreas de brejo e água foram consideradas como áreas impermeáveis nas simulações. Os valores de médios do CN utilizados nas simulações para cada cenário estão apresentados na Tabela 10, para o processo de urbanização de cada bacia.

Tabela 10 - Valores de CN considerados nas simulações hidrológicas

Local	Área Impermeável (%)	CN				
		Cenário 01	Cenário 02		Cenário 03	
			Pavimento Tradicional	Pavimento Permeável	Pavimento Tradicional	Pavimento Permeável
Sub-bacia 01	16.30	65	79	68	70	66
Bacia Global	8.27	63	80	66	71	65

Fonte: Autor (2019).

Tabela 11 - Variação do CN - Cenários 02 e 03 comparados com Cenário 01

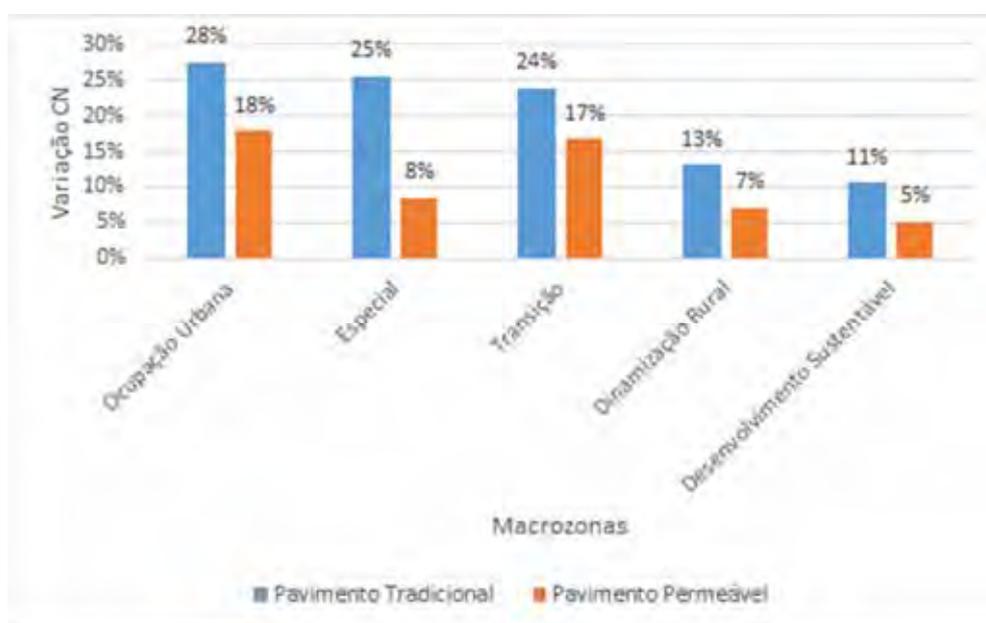
Local	Variação CN							
	Cenário 02				Cenário 03			
	Pavimento Tradicional		Pavimento Permeável		Pavimento Tradicional		Pavimento Permeável	
	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa
Sub-bacia 01	14	17.7%	3	4.6%	5	7.7%	1	1.5%
Bacia Global	17	21.3%	3	4.8%	8	12.7%	2	3.2%

Fonte: Autor (2019).

A Tabela 10 e a Tabela 11 demonstram a variação do CN de acordo com a mudança do pavimento no âmbito das bacias, onde é possível verificar que a urbanização elevou os valores de CN tanto com o pavimento tradicional quanto com o pavimento permeável, sendo que a utilização de PP resultou em acréscimo menor do CN quando comparados a pavimentação tradicional.

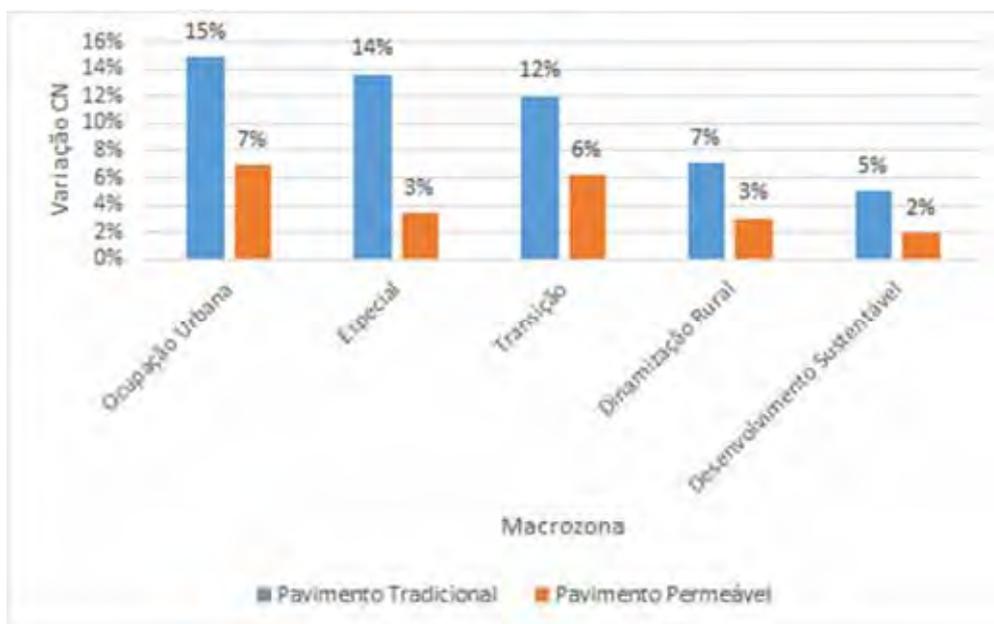
Na esfera das macrozonas verificou-se o crescimento do CN ligado ao crescimento da urbanização, as macrozonas com maior predominância de características urbanas obtiveram as maiores variações de CN. Conforme apresentado no Gráfico 1, o cenário 02 que prevê a máxima urbanização prevista no PDM, no caso de utilização do pavimento tradicional, macrozona de Ocupação Urbana teve um acréscimo de 28% no valor CN, enquanto a Macrozona Especial, que é a área indicada para a implantação do Porto Central e sua retroárea atingiu 25% de acréscimo ao CN atual. Gutierrez et al (2010) evidenciaram em sua pesquisa a relação urbanização x CN, onde identificaram que no local de estudo deles, um acréscimo de 90% de ocupação urbana retornou em acréscimos de 75% a 100% na taxa de escoamento.

Gráfico 1 - Variação do CN – Comparação do Cenário 02 e 01



Fonte: Autor (2019).

Gráfico 2 - Variação do CN – Comparação do Cenário 03 e 01



Fonte: Autor (2019).

A utilização do pavimento permeável permitiu que o CN da Macrozona Especial variasse somente 8% comparado com o cenário atual, 17% menor que a variação do pavimento tradicional. Já para as zonas de Ocupação Urbana e Transição o pavimento permeável comparado com o pavimento tradicional obteve uma redução de 10% e 7% respectivamente.

## 5.2 RESULTADOS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA

### 5.2.1 PAVIMENTO PERMEÁVEL

A Tabela 12 demonstra a influência de maior urbanização das áreas próximas ao porto, incluindo a parte da área do porto. A sub-bacia foi delimitada considerando limite da macrozona Especial, pois essa macrozona é destinada a receber o complexo portuário e sua retroárea e com maior taxa de ocupação, essa divisão permite visualizar o impacto da maior da urbanização, enquanto a sub-bacia teve um acréscimo de vazão da ordem de 50%, considerando a urbanização completa e pavimento tradicional, a bacia geral teve um acréscimo acima de 80% nas mesmas condições, indicando o impacto devido as características de urbanização da macrozona. A condição com utilização do pavimento permeável reduz de forma acentuada o acréscimo de escoamento devido a impermeabilização das áreas.

Tabela 12 - Variação da Vazão - Comparação Cenário 02 e Cenário 01

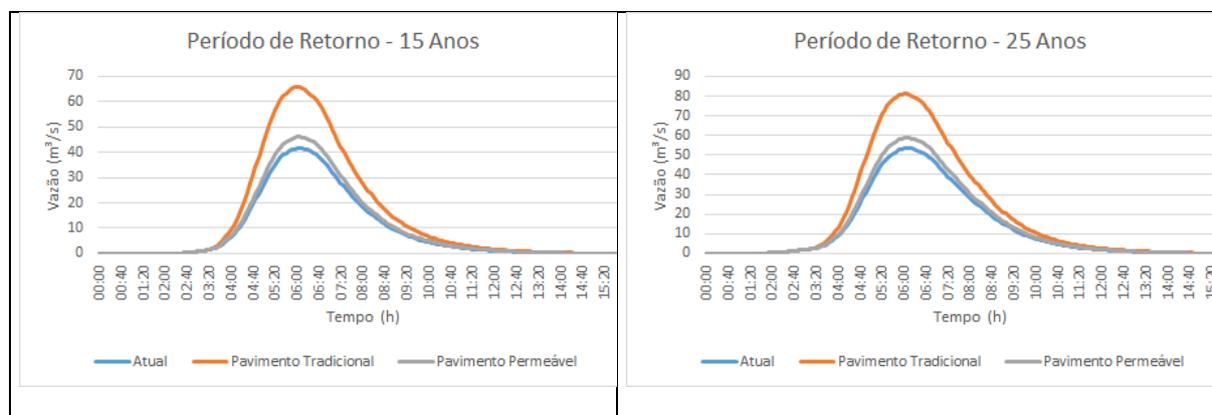
Descrição	Período de Retorno			
	15	25	15	25
Sub-bacia 1	57,79%	51,49%	10,79%	9,70%
Bacia	93,57%	83,80%	14,06%	13,06%

Fonte: Autor (2019).

O Gráfico 3 e o Gráfico 4 representam os hidrogramas das bacias considerando o cenário 02, com áreas completamente urbanizadas.

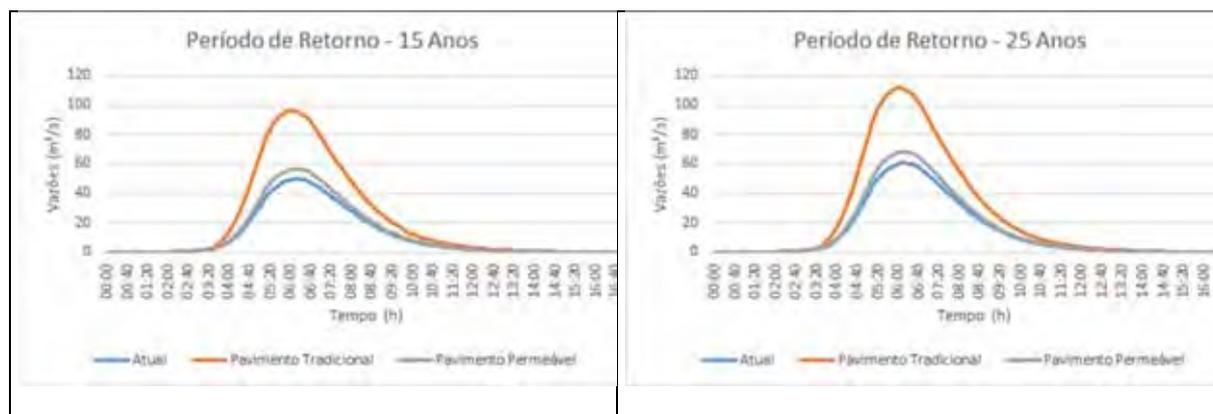
As simulações para as bacias com os mesmos períodos de retorno com utilização de pavimentos permeáveis resultaram em acréscimos de vazão da ordem 10% e 14% para a sub-bacia 01 e para a bacia geral, respectivamente. Comparando-se as vazões obtidas com pavimentos permeáveis e pavimentos tradicionais, os resultados indicaram redução entre 30 a 50% do volume de escoamento. Jato-Espino et al (2016) analisaram várias configurações de pavimentos permeáveis em seu estudo que resultaram em reduções de 40 a 50% do fluxo do escoamento na saída dos pontos controlados.

Gráfico 3 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 02 e - Sub-bacia 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos



Fonte: Autor (2019).

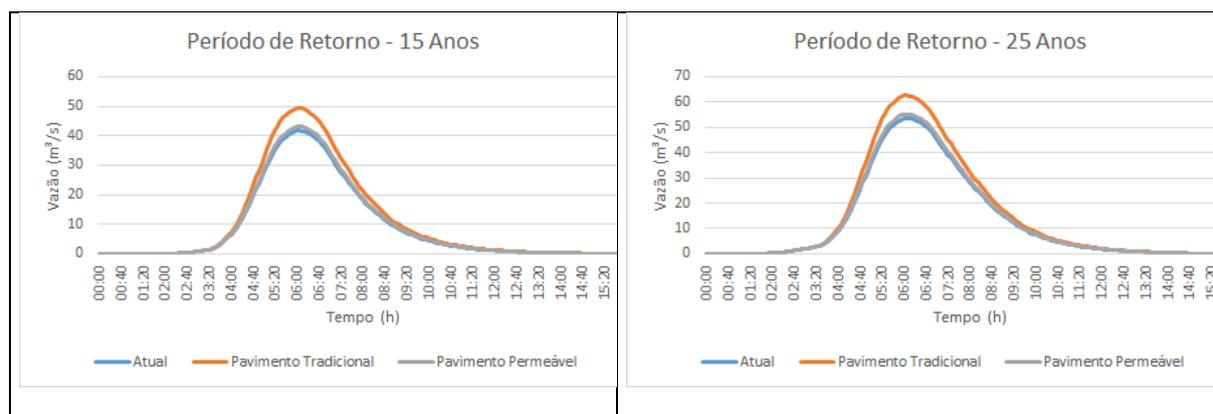
Gráfico 4 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 02 – Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos



Fonte: Autor (2019).

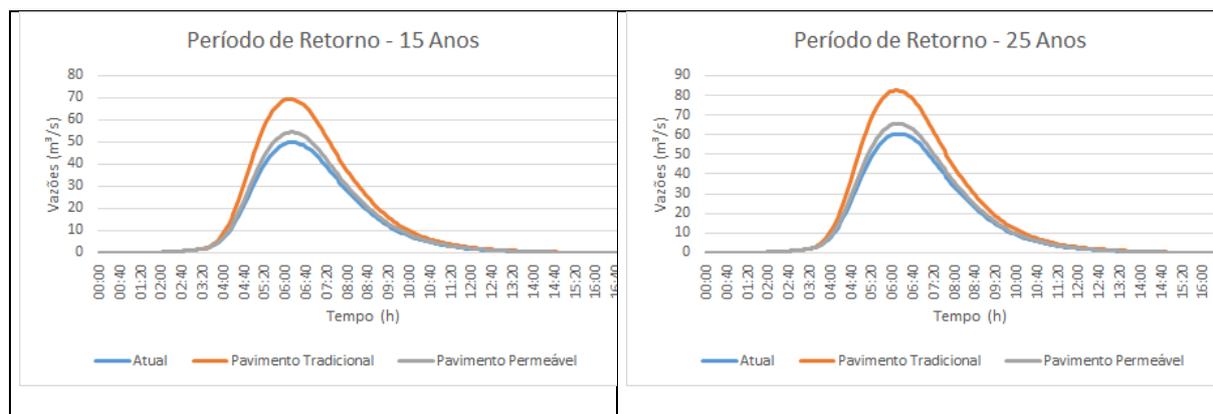
A relação urbanização e vazão pode ser compreendida quando se analisa as vazões obtidas para os cenários 02 e 03, os hidrogramas do cenário 03, demonstrados no Gráfico 5 e no Gráfico 6, apresentam valores de vazão menores que os adquiridos no cenário 02, acompanhando a tendência de urbanização, cenário 02 com áreas mais urbanizadas que o cenário 03. Contudo, essa relação não é linear, pois enquanto a urbanização no cenário 02 é 60% menor que o cenário 03, a redução média de vazão 30% e 10% para pavimentos tradicionais e pavimentos permeáveis, respectivamente. As mudanças do uso e ocupação do solo desempenham um papel vital na estimativa de inundações urbanas, pois quanto mais impermeável o solo se tornar, maior será o escoamento superficial. (ZHOU et al, 2013; ZOPE; ELDHO; JOTHIPRAKAS, 2014.)

Gráfico 5 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 03 - Sub-bacia 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos



Fonte: Autor (2019).

Gráfico 6 - Hidrogramas de Comparação Cenários 01 e 03 – Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos

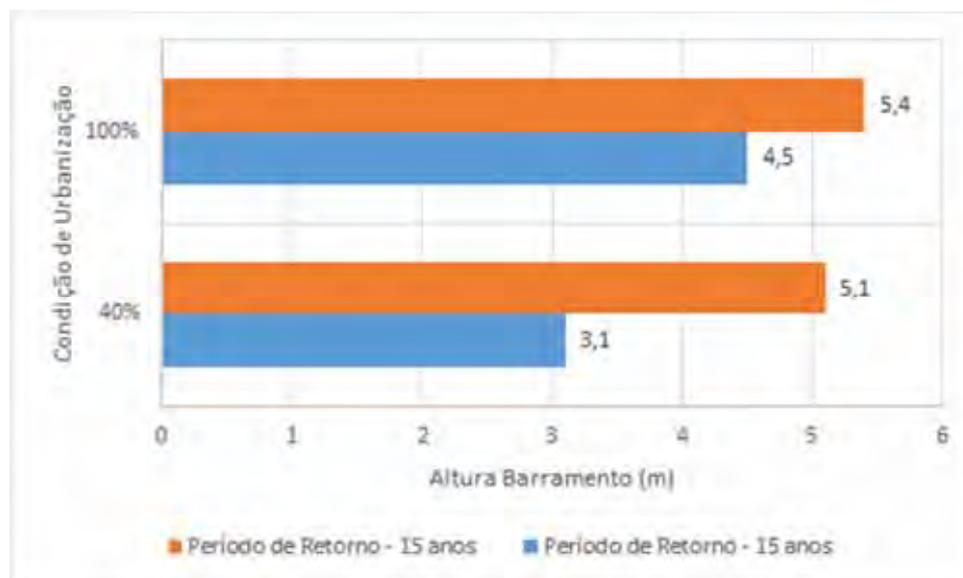


Fonte: Autor (2019).

### 5.2.2 BARRAGEM DE DETENÇÃO

A avaliação hidrológica da barragem de retenção para os cenários 02 e 03, mantendo a condição de vazões no exutório da bacia global, demonstrou a necessidade de barramentos para o cenário 02 com alturas mínimas de 4,5m e 5,4m para os períodos de retorno de 15 e 25 anos respectivamente, para o cenário 03, os barramentos teriam que ter as dimensões mínimas de 3,1m e 5,1m para os mesmos períodos de retorno, conforme mostra o Gráfico 7.

Gráfico 7 - Altura de Barramento com a variação de urbanização e Período de Retorno

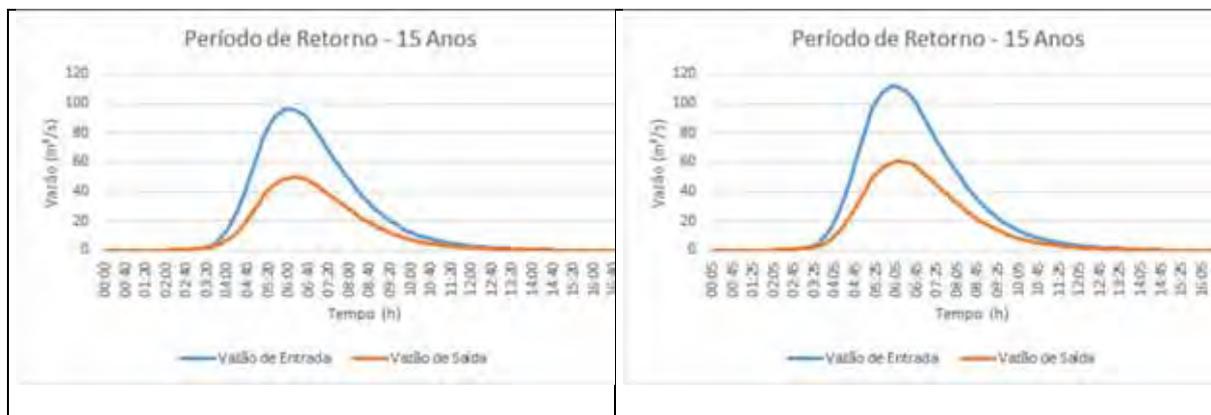


Fonte: Autor (2019).

Os hidrogramas para os cenários 02 e 03, conforme mostram o Gráfico 8 e o Gráfico 9, demonstram que o barramento é uma ferramenta possível para o controle do aumento de vazão ocorrido devido a urbanização da bacia. Moraes et al (2016) atentam em sua pesquisa que a

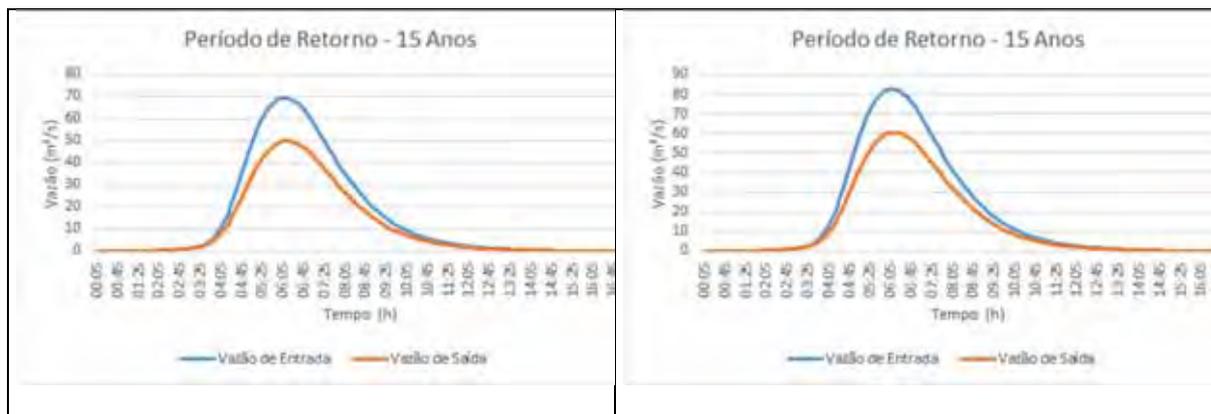
validação dos barramentos está interligada principalmente ao uso e ocupação do solo da bacia a ser amortecida, pois o barramento pode tornar-se ineficiente se não considerada a futura impermeabilização das áreas a montante do barramento.

Gráfico 8 - Hidrogramas Cenário 02 Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos



Fonte: Autor (2019).

Gráfico 9 - Hidrogramas Cenário 03 Bacia Global 01 - Períodos de Retorno 15 e 25 Anos



Fonte: Autor (2019).

O gráfico 08 que apresenta a pior condição, com a bacia toda urbanizada, demonstra de forma clara o processo de atenuação da vazão, pois as vazões de entrada apresentam valores próximos a 100 e 110 m<sup>3</sup>/s e as vazões de saída são da ordem 40 e 60 m<sup>3</sup>/s, para os períodos de retorno de 15 e 25 anos respectivamente.

O volume de água armazenado no reservatório para o cenário totalmente urbanizado é de 594.000 m<sup>3</sup> e 652.000 m<sup>3</sup> para os períodos de retorno de 15 e 25 anos respectivamente, sendo que esse volume de água pode ser aplicado dessedentação animal, práticas recreativas, na agricultura, entre outras aplicações.

### 5.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A barragem considerada no estudo tem uma altura de 8,00m, sendo 5,4m de condição de simulação 2,6m de condição de segurança (vertedouro e folga de segurança, com uma extensão de 80,0m. Para a determinação do seu custo de construção, foi adotado o custo médio obtido no capítulo 4.6, a Tabela 13 demonstra o custo do barramento.

Tabela 13 - Custo de Execução do Barramento

Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Extensão x Altura	640	R\$ 2.357,18	R\$ 1.508.595,20

Fonte: Autor (2019).

Os custos para os dois tipos de pavimentos apresentados no capítulo 4.4 estão sintetizados nas Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 14 - Custos Pavimentação - Tradicional e Permeável

Descrição	Unid	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
<b>Pavimento Tradicional</b>				
CBUQ (camada pronta - capa) inclusive fornecimento e transporte comercial do CAP	t	640.412,00	373,03	R\$ 238.892.888,36
Imprimação inclusive fornecimento e transporte comercial do material betuminoso	M2	5.336.770,00	7,75	R\$ 41.359.967,50
Base solo brita, 50% em peso, inclusive fornecimento e transporte da brita	M3	800.515,00	67,88	R\$ 54.338.958,20
Base de brita graduada, inclusive fornecimento e transporte da brita	M3	800.515,00	103,23	R\$ 82.637.163,45
<b>Custo Pavimento Tradicional</b>				<b>R\$ 417.228.977,51</b>
<b>Pavimento Permeável</b>				
Descrição	Unid	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Pavimentação com blocos de concreto (35MPa), esp.=10 cm, sobre colchão de areia esp.= 5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia.	M2	5.336.770,00	93,69	R\$ 500.001.981,30
Base de brita graduada, inclusive fornecimento e transporte da brita	M3	1.067.354,00	103,23	R\$ 110.182.953,42
<b>Custo Pavimento Tradicional</b>				<b>R\$ 610.184.934,72</b>

Fonte: Autor (2019).

Tabela 15 - Comparação de Custos de Implantação

<b>Opção 01</b>		<b>Opção 02</b>	
Pavimento Permeável	R\$ 610.184.934,72	Pavimento Tradicional	R\$ 417.228.977,51
		Barragem de Terra	R\$ 1.508.595,20
<b>Total</b>	<b>R\$ 610.184.934,72</b>		<b>R\$ 418.737.572,71</b>

Fonte: Autor (2019).

O custo de construção da opção com pavimento tradicional e barragem foi 30% inferior ao custo da opção com a utilização do pavimento permeável, contudo a metodologia utilizada foi a mesma utilizada pela SEAG, de não considerar a desapropriação da área alagada, custo que se fosse considerado aumentaria o valor da opção 01. Pereira (2014) descreve em seu trabalho que o custo de barragens de detenção é 60% inferior ao custo de implantação de pavimentos permeáveis.

O custo do revestimento do pavimento, bloco de concreto e concreto asfáltico, foram os componentes da estrutura do pavimento que influenciaram predominantemente na comparação, pois o valor do bloco de concreto por metro quadrado é superior ao valor do CBUQ. As demais estruturas dos pavimentos (base e sub-base) apresentam valores similares, portanto não influenciado no custo final da comparação.

Os valores tratam dos custos considerando investimento público e investimento privado, contudo na macrozona especial é importante destacar que aproximadamente 16% da área será destinada as áreas de estacionamento e pátios, que serão ocupados pelos empreendimentos privados, dessa forma considerando o custo parcela pública, a relação entre o custo de pavimento permeável e o custo do pavimento tradicional mais a barragem reduz para 20%, continuando a opção 2 como melhor alternativa.

Destaca-se que como o amortecimento da vazão foi realizado de forma similar através dos sistemas de drenagem sustentável propostos, o custo dos sistemas de drenagem profunda não foi considerado, pois seriam semelhantes e, portanto, não interfeririam na análise das opções.

## 6 CONCLUSÕES

A criação de cenários foi realizada a partir dos elementos contidos no Plano Diretor Municipal do município de Presidente Kennedy, das informações contidas no plano de implantação do Porto Central e de referências na literatura. Após os cenários obtidos foi possível verificar mudança de uso e ocupação do solo através do crescimento dos valores de CN calculados, considerando a implantação total e parcial da urbanização. A variação do CN correspondeu a estudos passados, que indicavam que o aumento da urbanização corresponde a um crescimento do CN, sendo que a utilização de pavimentos permeáveis freou o crescimento do CN comparado a utilização do pavimento tradicional.

Os dados de relevo foram utilizados para a delimitação da bacia e sua sub bacia que associado as condições de uso e ocupação do solo e características do solo, foi possível determinar as vazões hidrológicas para os períodos de retorno considerados, 15 e 25 anos utilizando o software HEC HMS. As vazões obtidas retrataram a tendência de maior urbanização maior o fluxo do escoamento superficial.

Os sistemas empregados para amortecimento de vazões, pavimentos permeáveis e barragem de retenção, mostraram-se eficientes na redução do escoamento, reduzindo entre 30 a 50% o volume de escoamento pós urbanização, como os sistemas demonstraram resultados semelhantes não foi necessária a previsão de redução das redes de microdrenagem que poderiam ser alocadas nas bacias.

A divisão da área de estudo, considerando a Macrozona Especial como limite, evidenciou o impacto da urbanização nas áreas do entorno do porto, pois tratam-se de áreas com maior abrangência de ocupação do solo, resultando em áreas mais impermeabilizadas.

A avaliação econômica demonstrou que a aplicação do reservatório de retenção associado ao uso do pavimento tradicional resultou em menor custo quando comparado a utilização do pavimento permeável, tal fato é corroborado pela característica da bacia que possui uma grande área de brejo que pode ser utilizado como reservatório, sem a necessidade de obras mais vultuosas, outra característica predominante foram as extensões e alturas do barramento necessárias à execução do barramento de terra.

O estudo demonstrou que a ação dos gestores quanto ao processo de urbanização, propondo limites de ocupação, formatos de sistemas de drenagem sustentáveis, influencia no comportamento hidrológico, pois o amortecimento das vazões de cheias foi verificado nas simulações realizadas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ÅSTEBØL, S.O; HVITVED-JACOBSEN, T.; SIMONSEN, Ø. Sustainable stormwater management at Fornebu—from an airport to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway. **Science of the Total Environment**, n. 334-335, p. 239-249, 2009.

BEAN, E.Z.; HUNT, W.F.; BIDELESPACH, D.A. Evaluation of Four Permeable Pavement Sites in Eastern North Carolina for Runoff Reduction and Water Quality Impacts. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.6, p.583-598, 2007.

BELL, C.D.; MCMILLAN, S.K., CLINTON, S.M; JEFFERSON, A.J. Hydrologic Response to Stormwater Control Measures in Urban Watersheds. **Journal of Hydrology**, n.541, p.1488-1500, 2016.

BENINI, R.M; MENDIONDO, E.M. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, n.22(22), p. 211-222, 2015.

BESKOW, S.; NORTON, L.D.; MELLO, C.R. Hydrological Prediction in a Tropical Watershed Dominated by Oxisols Using a Distributed Hydrological Model. **Water Resources Management**. n.27, p. 341-363, 2013.

BOOGAARD, F; LUCKE, T; VAN DE GIESEN, N.; VAN DE VEM, Frans. Evaluating the Infiltration Performance of Eight Dutch Permeable Pavements Using a New Full-Scale Infiltration Testing Method. **Water**, n.6, p. 2070-2083, 2014.

BOOKER, D.J.; WOODS, R.A. Comparing and combining physically-based and empirically-based approaches for estimating the hydrology of ungauged catchments. **Journal of Hydrology**, n.508, p.227-239, 2014.

BOUGHTON, W. Calibrations of a daily rainfall-runoff model with poor quality data. **Environmental Modelling & Software**, n.21, p. 1114-1128, 2006.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. Stormwater. **Urban Drainage**. Ed. Spon Press, Ed. 3, p. 106-130, 2010.

CARNEIRO, P.R.F; CARDOSO, A.L.; ZAMPRONIO, G.B; MARTINGIL, M.C. A gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano- metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí, na Baixada Fluminense. **Ambiente & Sociedade**, v. XIII, n.1, p. 29-49, 2010.

CAMPANA, N.A.; BERNARDES, S.B., DA SILVA JR, J.A. Controle Qualitativo e Quantitativo do Escoamento Pluvial Urbano com Bacias de Detenção. **Ambiente & Água**, v.2, n.3, p.98-111, 2007.

CARVALHO, L.S; QUINTO JUNIOR, L.P.; CRESPO, M.P; Reestruturação Espacial: Estudo de Caso do Porto do Açú. In: II Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica, 2010.

CHEN, L.; NUO, W. Dynamic Simulation of Land Use Changes in Port City: A Case Study of Dalian, China. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, n.96, p.981-992, 2013.

CETTNER, A.; ASHLEY, R.; VIKLANDER, M.; NILSSON, K. Stormwater management and urban planning: lessons from 40 years of innovation. **Journal of Environmental Planning and Management**, n.56, p. 786-801, 2013.

CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. 1 ed. McGraw-Hill Company, 1964.

CLARKE, R.T. Hidrologia Estatística. In: TUCCI, C.E.M. (Org). **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. Ed. UFRGS, Ed. 3, p. 659-698, 2004.

COELHO, M.C.N.; MONTEIRO, M.A.; SANTOS, I.C. Políticas públicas, corredores de exportação, modernização portuária, industrialização e impactos territoriais e ambientais no município de Barcarena, Pará. **Novos Cadernos NAEA**, v.11, n1, p. 141-178, 2004.

DAMODARAM, C.; GIACOMONI, M.H.; KLEDUN, C.P.; HOLMES, H, RYAN, A; SAOUR, W.; ZECHMAN, E.M. Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management. **Journal of the American Water Resources Association**, v.46, n.5, p.907-918, 2010.

DARIANE, A.B.; JAVADIANZADEH, M.M.; JAMES, L.D. Developing an Efficient Auto-Calibration Algorithm for HEC-HMS Program. **Water resources Management**, n.30, p. 1923-1937, 2016.

DECINA, T.G.T; BRANDÃO, J.L.B. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, n.1, p. 207-217, 2016.

DEVI, G.K.; GANASRI, B.P.; DWARAKISH, G.S. A Review on Hydrological Models. **Aquatic Procedia**, n. 4, p. 1001-1007, 2015.

ELLIS, J.B; LUNDY, L. Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory framework in England and Wales. **Journal of Environmental Management**, n.183, p. 630-636, 2016.

ESPÍRITO SANTO. LEI 6132/2000. Autoriza criação de distrito industrial. Diário Oficial do Estado. Disponível em: <<http://www3.al.es.gov.br/legislacao/norma.aspx?id=11469&autor=979>>. Acesso em 15 jan. 2018.

FASSMAN, E.; BLACKBOURN, S. Permeable Pavement Performance over 3 Years of Monitoring. Low Impact Development International Conference (LID), v. 367, n.15, p. 152-165, 2010.

FILHO, A.G.A; SZÉLIGA, M.R.; ENOMOTO, C.R. Estudo de Medidas Não-Estruturais para Controlo de Inundações Urbanas. **PUBLICATIO UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v.6, n1, p.69-90, 2000.

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.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology**. Urban Water Journal, v.12, n.7, p.525-542, 2015.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de Seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão de risco de inundações**, 2012. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GUTIERREZ, L. A. R.; LUCAS, A. H.; ANGELINI SOBRINHA, L.; BARBASSA, A. P.; MORUZZI, R. B.; TEIXEIRA, B. A. N. **Problemas construtivos em um sistema vala-trincheira de infiltração**. In 14º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010. Porto. Anais...Porto: 2010.

HAMEL, P.; DALY, E.; FLETCHER, T.D. Source-control stormwater management for mitigating the impacts of urbanisation on baseflow: A review. **Journal of Hydrology**, n.485. p. 201-211, 2013.

IBRAHIM-BATHIS, K.; AHMED, S.A. Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed— an application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed. **Arabian Journal of Geosciences**, n.9, 170, 2016.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural 2011-2013. Presidente Kennedy, 2011. Disponível em: <[https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Caparao/Presidente\\_Kennedy.pdf](https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Caparao/Presidente_Kennedy.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2018.

JATO-ESPINO, D.; SILLANPÄÄ, N.; CHARLESWORTH, S.; ANDRÉS-DOMÉNECH, I. Coupling GIS with stormwater modelling for the location prioritization and hydrological simulation of pervious pavements in urban catchments. **Water**, V.8, 2016.

JHA, A.K.; BLOCH, R.; LAMOND, JESSICA. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. **World Bank**, 2012.

JIA, H; YAO, H; TANG, Y; YU, S.L.; ZHEN, J.Z.; LU, Y. Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs). **Journal of Optimization**, n.2, p. 95-108, 2013.

JOHNSON, R.D; SAMPLE, D.J. A semi-distributed model for locating stormwater best management practices in coastal environments. **Environmental Modelling & Software**, n.91, n. 70-86, 2017.

KAWASHIMA, R.S.; GIANNOTTI, M.A.; ALMEIDA, C.M.; QUINTANILHA, J.A. Modelagem Dinâmica Espacial Como Ferramenta para Simulação de Cenários da Paisagem na Região Portuária da Baixada Santista. **BCG – Boletim de Ciências Geodésicas**, v.22, n.4, p.703-718, 2016.

KIBLER, D.F., FROELICH, C.D., ARON, G., 2007. Analyzing urbanization impacts on Pennsylvania flood peaks. **Journal of American Water Resources Association**, 17 (2), 270–274.

KNAPTON, J; COOK, I.D. Permeable Paving for a New Container Handling Area at Santos Container Port, Brazil, **Jipea World Congress**, 2000.

KURUPPU, U.; RAHMAN, A.; RAHMAN, M.A. Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. **Environmental Earth Sciences**, n.78, p. 1-20, 2019.

LEE, J.G; HEANYE, J.P. Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.129, n.5, p.419-426, 2003.

LEHBAB-BOUKEZZI, Z.; BOUKEZZI, L.; ERRIH, M. Uncertainty analysis of HEC-HMS model using the GLUE method for flash flood forecasting of Mekerra watershed, Algeria. **Arabian Journal of Geosciences**, n.9, 751. 2016.

LIU, Y.; CIBIN, R.; BRALTS, V.F.; CHAUBEY, I.; BOWLING, L.C.; ENGEL, B.A. Optimal selection and placement of BMPs and LID practices with a rainfall-runoff model. **Environmental Modelling & Software**, n.80, p. 281-296, 2016.

LOPERFILDO, J.V.; BOE, G.B.; JARNAGIN, S.T.; HOGAN, D.M. Effects of distributed and centralized stormwater best management practices and land cover on urban stream hydrology at the catchment scale. **Journal of Hydrology**, n.519, p.2584-2595, 2014.

MIGUEZ, M.G.; DI GREGÓRIO, L.T.; VERÓL, A.P. Mitigação. In: MIGUEZ, M.G.; (Org). **Gestão de Riscos e Desastres Ecológicos**. Ed. Elsevier, Ed. 1, 2018.

MOKHTARI, E.H; REMINI, B.; HAMOUDI, S. A Hydrological modelling of wadi Ressoul watershed, Algeria, by HEC-HMS model, Algeria. **Journal of Water and Land Development**, n. 31, p. 139-147, 2016.

MOKHTARI, E.H; REMINI, B.; HAMOUDI, S. A Modelling of the rain–flow by hydrological modelling software system HEC-HMS – watershed’s case of wadi Cheliff-Ghrib, Algeria. **Journal of Water and Land Development**, n. 30, p. 87-100, 2016.

MORAES, I. C. et al. **Efeito do uso da terra no amortecimento de cheias em Reservatórios de Retenção: Estudo de Caso do Lago Azul, cidade de Rio Claro (SP -Brasil)**. Geociências, São Paulo (UNESP), v. 35, n. 2, p. 288 -301, 2016

MORUZZI, R.B; BRAGA, R.; CUNHA, C.M.L. Proposta de Roteiro para Coleta de Dados Visando Diagnóstico da Drenagem Urbana em Planos Diretores Municipais. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.5, n.3, p.523-536, 2009.

MULLANEY, J.; LUCKE, T. Practical Review of Pervious Pavement Designs - Soil, Air, Water, v.42, n.2, p. 111-124, 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. P. Hidrologia estatística. CPRM, 2007.

NERILO, N.; MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A. Chuvas Intensas no Estado de Santa Catarina. Editora da UFSC/Editora da FURB, 2002.

PELLEGRAM, A. Strategic Land Use Planning for Freight: The Experience of the Port of London Authority, 1994-1999. **Transport Policy**, n.8, p.11-18, 2000.

PERALES-MOMPARLER, S.; AD´RES-DOMÉBECH, I.; HERNÁNDEZ-CRESPO, C.; VALLÉS-MORÁN, F.; MARTÍN, M.; ANDREU, J. The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, n.163, p. S113-S124, 2017.

PERES, R.B.; DA SILVA, R.S. Análise das Relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: Avanços e Desafios Visando a Integração de Instrumentos de Gestão. **Sociedade & Natureza**, n.25, p. 349-362, 2013.

PINTO, L.L.C.A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo.

PIZELLA, D.G. A Relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacias Hidrográficas na Gestão Hídrica. **Revista Ambiente e Água**, v.10, n.3, n.635-645, 2015.

PORTO CENTRAL, Estudo de Impacto Ambiental do Porto Central de Presidente Kennedy/ES, 2013. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Porto%20Central/EIA/fscommand/pdf/>>. Acesso em dez. 2017.

PRESIDENTE KENNEDY. Edital de Concorrência Pública nº 004/2019. Contratação de empresa para realização de obras de melhorias operacionais e pavimentação de rodovia vicinal municipal dos trechos 6 e 7 (integrantes do lote i): es 162 - São Salvador - divisa com Itapemirim (Nova Canaã) / Dois Corações - Comissão, com extensão de 12,57 km. Presidente Kennedy, 2019.

PRESIDENTE KENNEDY. LEI 1379/2018. DISPÕE SOBRE A ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE KENNEDY, CONFORME DETERMINA O DISPOSTO NO ART. 182 DA CRFB DE 1988 E O ART. 39 C/C ARTS. 40, 41, 42 DO ESTATUTO DA CIDADE – LEI 10.257 DE 2001. Disponível em: <http://legislacaocompilada.com.br/kennedy/norma.aspx?id=3454&tipo=1>>. Acesso em 10 jun. 2018.

PRESIDENTE KENNEDY. **Projeto de Engenharia para Construção de Barragens de Múltiplo Uso**: Projeto Executivo - Volume II – Dimensionamentos, memórias, orçamento e cronograma. Presidente Kennedy, 2019.

QUINTO JUNIOR, L.P.; COUTINHO, R.R. Avaliação da sustentabilidade ambiental do entorno do Complexo Portuário Industrial do Açú. Ante as transformações socioambientais oriundas do empreendimento. **Revista Bitácora Urbano Territorial**, v. 19, n.2, p. 9-20, 2011.

RECANATESI, F.; PETROSELLI, A.; RIPA, M.N.; LEONE, A. Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). **Journal of Environmental Management**, n.201, p. 6-18, 2017.

REIS, J.T.; FILHO, W.P.; SILVEIRA, A.L.P. Estimativa entre densidade habitacional e áreas impermeáveis na região urbana da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena em Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v.33, n.1, p. 145-160, 2011.

REZENDE, O.M.; MIGUEZ, M.G.; VERÓL, A.P. Manejo de Águas Urbanas e sua Relação com o Desenvolvimento Urbano em Bases Sustentáveis Integradas — Estudo de Caso dos Rios

Pilar- Calombé, em Duque de Caxias/RJ, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.2, p.149-163, 2013.

RIBEIRO, L.C.M; SIQUEIRA, M.P.S. Portos e Cidades: Expansão e Modernização dos Portos de Vitória (sec. XX-XXI). **Dimensões**, v.28, p.385-412, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A.M.; NETO, F.L. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A.M.; NETO, F.L. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 19-29, 2005.

SERAFIM, M.P; RICCI, M.S. Planejamento Urbano e a Materialização do Plano Diretor: Uma Análise Comparativa entre Bauru e Piracicaba. **Redes**, v.22, n.1, p. 118-141, 2017.

SHACKEL, B. Design of Permeable Paving Subject to Traffic. **8th International Conference on Concrete Block Paving**, 2006 San Francisco, California, USA.

SHARIFI, S.; HOSSEINI, S.M. Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.167, n.11, p.713-718, 2011.

SILVEIRA, A.L.L. Drenagem Urbana - Aspectos de Gestão. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2002.

STEENBERGEN, N.V; WILLEMS, P. Method for testing the accuracy of rainfall-runoff models in predicting peak flow changes due to rainfall changes, in a climate changing context. **Journal of Hydrology**, n.414-415. p. 425-434, 2012.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (Paraná). **Plano Diretor de Drenagem para a bacia do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba**. Paraná, CH2MHILL, 2002.

SURIYA, S.; MUDGAL, B.B. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study. **Journal of Hydrology**, n.412-413. p. 210-219, 2012.

TESSEMA, S.M; LYON, S.W.; SETEGN, S.G; MORTBERG, U. Effects of Different Retention Parameter Estimation Methods on the Prediction of Surface Runoff Using the SCS Curve Number Method. **Water Resour Manage**, N.21, P. 3241-3254, 2014.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Navegar Editora, 2002.

TRAVASSOS, L. Inundações Urbanas: Uma Questão Sócioambiental. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.1, n.1, p.88-105, 2012.

TUCCI, C.E.M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.2, n.2, p.5-12, 1997.

TUCCI, C.E.M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, v.55, n.4, p. 36-3, 2003.

TUCCI, C.E.M. Regulação das Águas Pluviais Urbanas. **REGA**, v.4, n.1, 2007.

TUCCI, C.E.M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C.E.M. (Org). **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. Ed. UFRGS, Ed. 3, p. 621-652, 2004.

TUCCI, C.E.M. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C.E.M. (Org). **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. Ed. UFRGS, Ed. 3, p. 391-437, 2004.

TURRA, A; AMARAL, A.C.Z; CIOTTI, A.M; WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.R; SCHAEFFER-NOVELLI, Y; MARQUES, A.C; SIEGLE, E; SINISGALLI, P.A.A; SANTOS, C.R; DO CARMO, A.B. Environmental Impact Assessment Under an Ecosystem Approach: The São Sebastião Harbor Expansio Project. **Ambiente & Sociedade**, v. XX, n.3, p. 155-176, 2017.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária Ambiental**. V.21, n.4, p. 655-662, 2016.

VELOSO-GOMES, F.; TAVEIRA-PINTO, F. Portuguese coastal zones and the new coastal management plans. **Journal of Coastal Conservation**, n.9, p. 25-34, 2003.

WALSH, C.J; FLETCHER, T.D.; BURNS, M.J. Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem. **Journal Plos One**. V.7, 2012.

WANG, C.; DUCRUET, C. New port development and global city making: emergence of the Shanghai–Yangshan multilayered gateway hub. *Journal of Transport Geography*; V.25, p. 58-69, 2012.

WIDIYATI, C.N.; SUDIBYKTO. Application of US-SCS Curve Number Method and GIS for Determining Suitable Land Cover of Small Watershed. **Indonesian Journal of Geography**, v.42, n.1, p. 67-90, 2010.

WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. **CETESB**, 1978.

WORQLUL, A.W; AYANA, E.K; MMATHUIS, B.H.P.; MACALISTER, C.; PHILPOT, W.D; LEYTON, J.M.O.; STTNHUIS, T.S. Performance of bias corrected MPEG rainfall estimate for rainfall-runoff simulation in the upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Journal of Hidrology**, n. 556. p. 1182-1191, 2018.

XIAO, Z; LAM, J.S.L. A Systems Framework for The Sustainable Development of a Port City: A Case Study of Singapore's Policies. **Research in Transportation Business & Management**, n.22, p. 255-262, 2017.

YU, J.; YU, H.; ZU, L. Performance evaluation of various stormwater best management practices. **Environmental Science and Pollution Research International**, n.20, p. 6160-6171, 2013.

ZHANG, G.; HAMLETT, J.M.; REED, P.; TANG, Y. Multi-Objective Optimization of Low Impact Development Designs in an Urbanizing Watershed. **Open Journal of Optimization**, n.2, p. 95-108, 2013.

ZHANG, K.; CHUI, T.F.M. A comprehensive review of spatial allocation of LID-BMP-GI practices: Strategies and optimization tools. **Science of the Total Environment**, n. 621, p. 915-929, 2018.

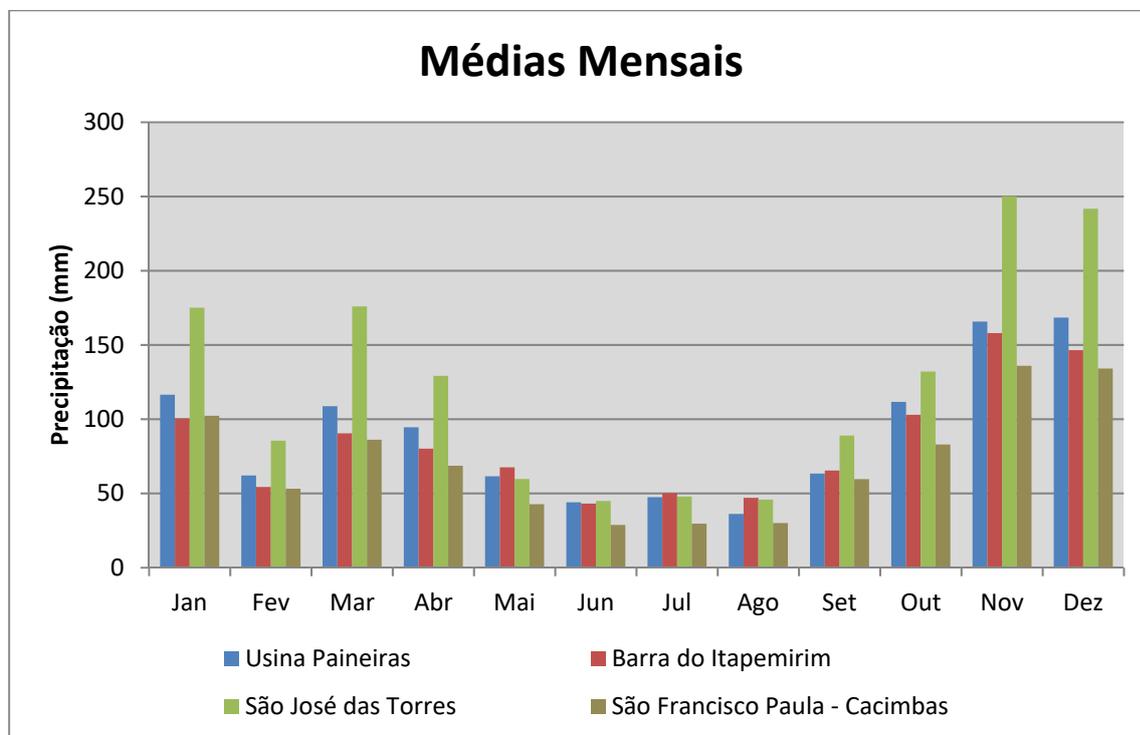
ZHOU, F.; ZU, Y.; CHEN, Y.; XU, C.-Y., GAO, Y., DU, J. Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta region. **Journal of Hidrology**, n.485. p. 113-125, 2013.

ZOPE, P.E.; ELDHO, T.I; JOTHIPRAKASH, V. Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India. **Nat Hazards**, n.75, p.887-908, 2015.

## 8 ANEXOS

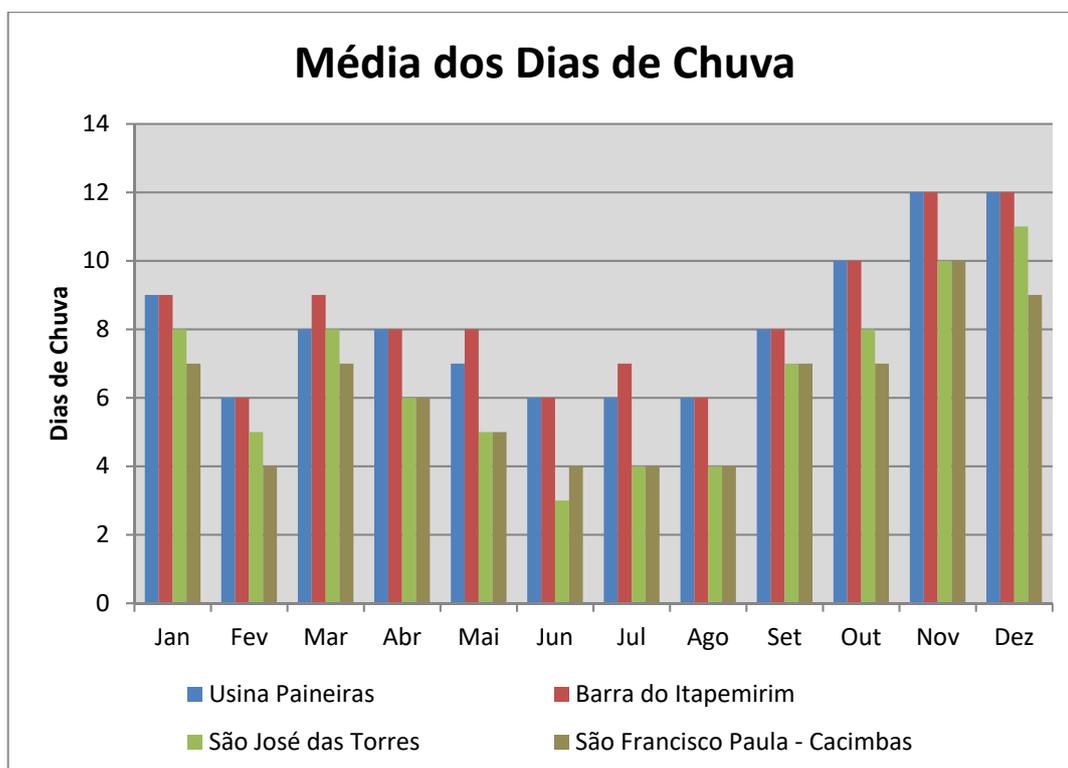
### Anexo I – Análise de Chuvas Intensas

Gráfico 10 - Médias mensais de Precipitação das Estações Pluviométricas



Fonte: Autor (2018).

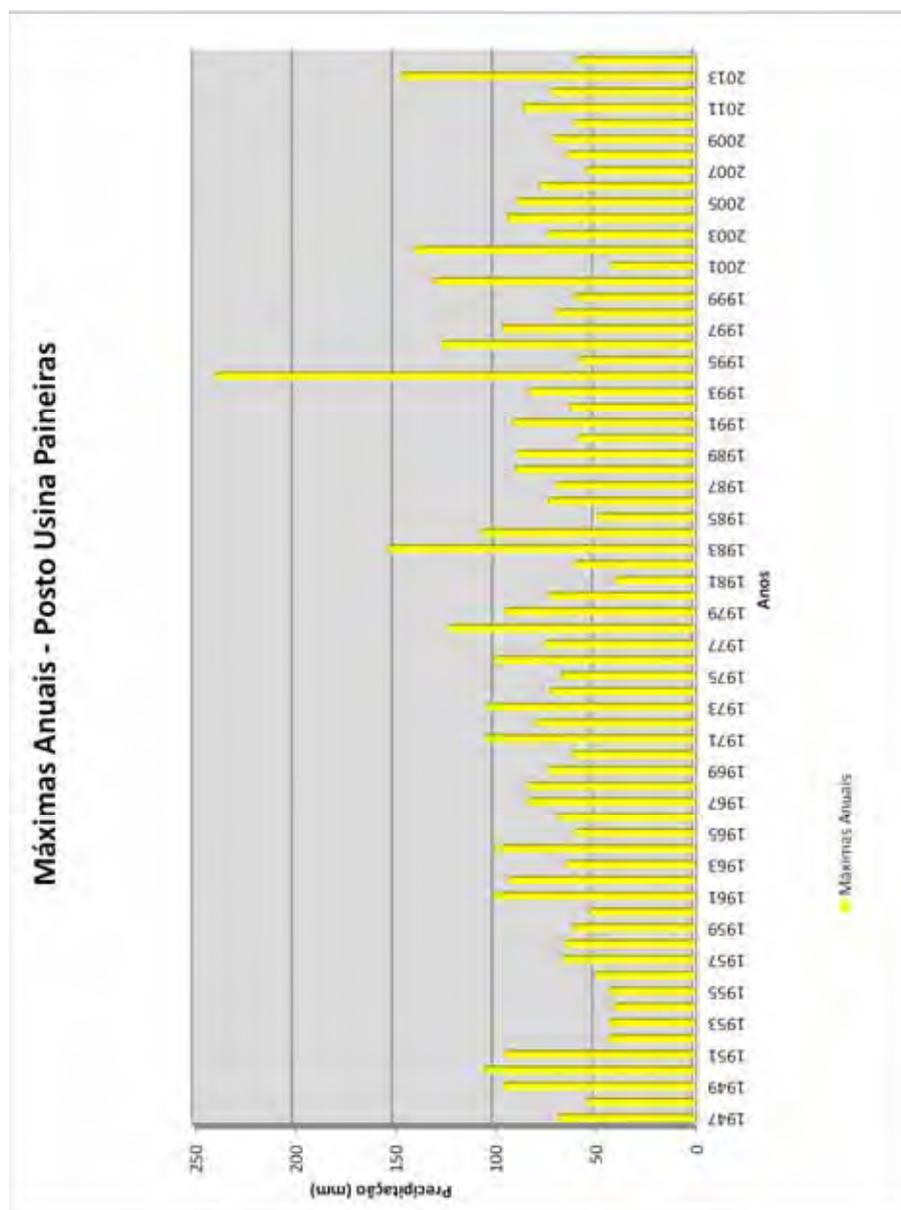
Gráfico 11 - Média dos dias de Chuvas das Estações Pluviométricas



Fonte: Autor (2018).

Após a análise do Gráfico 10 e do Gráfico 11 optou-se por utilizar os dados de precipitação da Estação de Barra de Itapemirim, devido à proximidade a bacia e a condições de relevo. Os dados são apresentados no Gráfico 12.

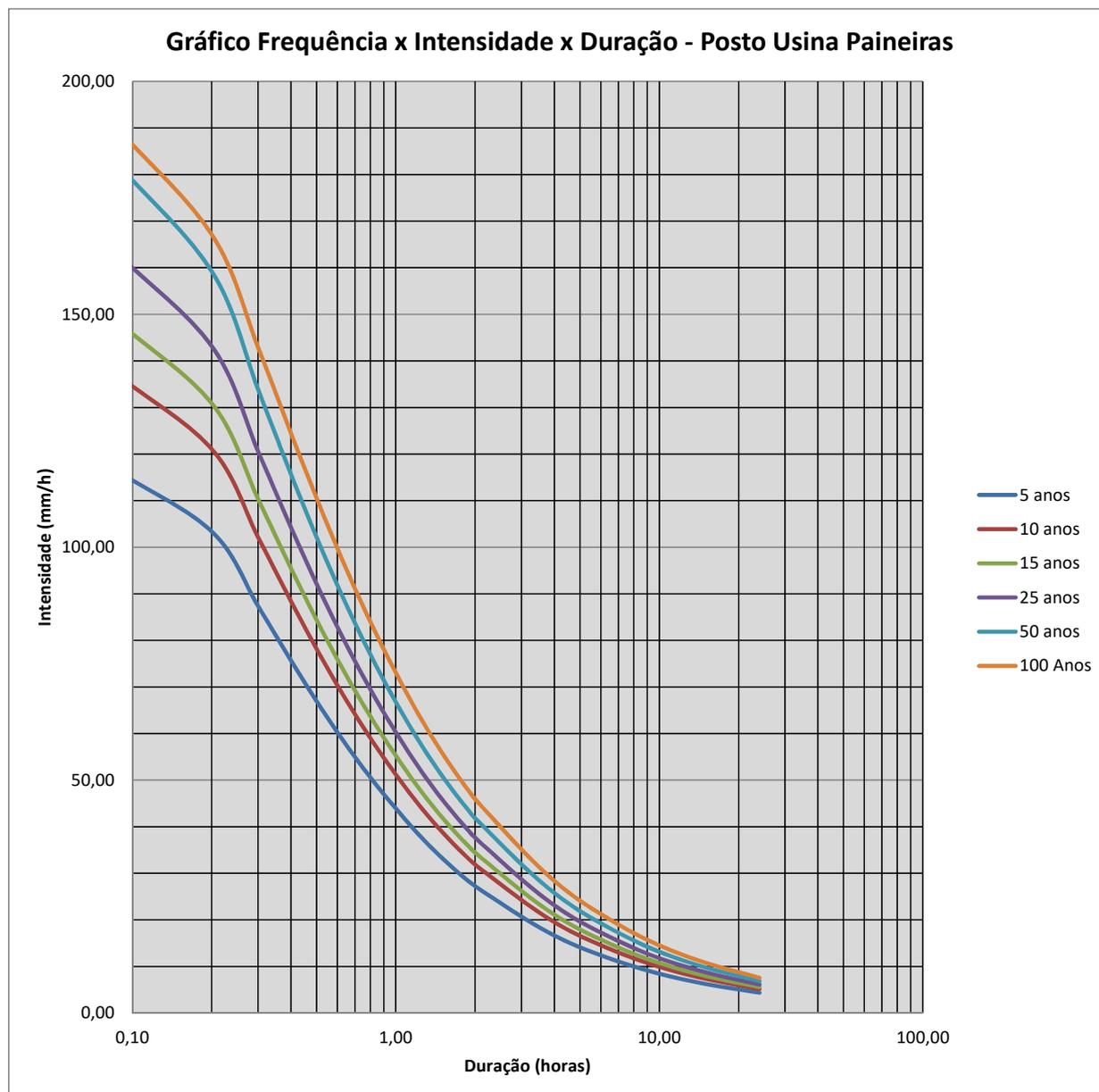
Gráfico 12 - Máximas Precipitações Anuais



Fonte: Autor (2018).

Utilizando a metodologia descrita no capítulo 3.8, foram elaboradas as curvas de frequência, intensidade e duração, conforme Gráfico 13.

Gráfico 13 – Frequência x Intensidade x Duração



Fonte: Autor (2019).