



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Alana Fernandes de Albuquerque

**DRENAGEM CONVENCIONAL X DRENAGEM SUSTENTÁVEL.  
ESTUDO DE CASO: ESTACIONAMENTO DO FÓRUM DE ARAGUAÍNA -TO**

Palmas – TO

2017



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Rede credenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Alana Fernandes de Albuquerque

## **DRENAGEM CONVENCIONAL X DRENAGEM SUSTENTÁVEL. ESTUDO DE CASO: ESTACIONAMENTO DO FÓRUM DE ARAGUAÍNA -TO**

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Kenia Parente Lopes e Mendonça

Palmas – TO

2017



# CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Alana Fernandes de Albuquerque

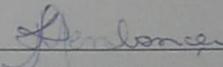
## DRENAGEM CONVENCIONAL X DRENAGEM SUSTENTÁVEL. ESTUDO DE CASO: ESTACIONAMENTO DO FÓRUM DE ARAGUAÍNA -TO

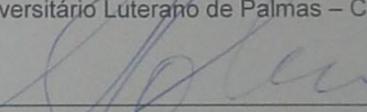
Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC I I) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

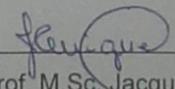
Orientador: Prof. Esp. Kenia Parente Lopes e Mendonça

Aprovada em 19/05/2017

### BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Esp. Kenia Parente Lopes e Mendonça  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
Prof. M.Sc. Jacqueline Henrique  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

## DEDICATÓRIA

A Deus, por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis, fortalecendo minha fé e mostrando minha capacidade de vencer. E a minha estimada orientadora Kenia, por todo o conhecimento compartilhado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar sempre comigo, me dando força e abençoando durante a minha formação acadêmica e a finalização deste projeto.

Agradeço à minha orientadora Kenia Parente Lopes e Mendonça pela orientação, comprometimento e paciência de compartilhar seus conhecimentos, me auxiliando muito como acadêmica para a realização desta pesquisa.

Agradeço a minha mãe Poliana de Jesus e meu Padrasto Jocilon Ribeiro, por serem exemplo de força, garra e determinação, obrigada pelo amor incondicionalmente e incentivo sempre. Às minhas irmãs Ana Paula, Morgana, Susana e Jennifer Mikaelle, pelo companheirismo e apoio nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus tios, primos, sogra, cunhada, afilhados, e de maneira especial àquele que sempre esteve ao meu lado durante essa jornada, meu grande amor Mhayonne Nunes, obrigada por sempre acreditar no meu potencial.

Agradeço aos meus amigos Andressa, Karen, Ibleicielle, Maria das Mercês, Julyana, Helida, Patrícia, Thayla, Denny, Gilmara, Larissa, Juliana Lisboa que sempre estiveram do meu lado em todos os momentos.

À banca examinadora: Prof. M.sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira e Prof. M.sc Jacqueline Henrique, pela disponibilidade de me avaliar.

A todos que estiveram nesta jornada, meu muito obrigada.

## RESUMO

O desenvolvimento e a expansão dos núcleos urbanos conduziram a um aumento das taxas de impermeabilização do solo. Em termos de drenagem urbana, este processo é bastante nefasto, visto que reduz a capacidade de infiltração da água pluvial no solo, aumentando o volume de escoamento superficial, e reduzindo os tempos de concentração, provocando um agravamento nos caudais de ponta. Esta pesquisa buscou analisar as principais características entre os sistemas de drenagem pluvial urbana convencional e o sustentável. Optou-se por uma abordagem qualitativa dos sistemas de drenagem mencionados e o método utilizado foi baseado em revisão da literatura. Os resultados foram obtidos a partir do desenvolvimento das etapas metodológicas propostas e a análise dos resultados por comparação dos dados obtidos. O referencial teórico descrito no trabalho serviu de linha condutora para a realização do estudo. Os dados coletados apontaram para o emprego apenas da drenagem convencional, com grandes deficiências e falta de planejamento, ausência de integração entre os serviços de melhoramento público e longe do referido sistema sustentável.

Palavras-chave: Sistemas sustentáveis de drenagem. Impermeabilização dos Solos. Escoamento Superficial.

## **ABSTRACT**

The development and expansion of the urban nuclei led to an increase in soil waterproofing rates. In terms of urban drainage, this process is quite harmful, since it reduces the capacity of infiltration of the rainwater in the soil, increasing the volume of surface runoff and reducing the concentration times, causing a worsening in the tip flows. This research sought to analyze the main characteristics between conventional and sustainable urban storm drainage systems. We chose a qualitative approach of the mentioned drainage systems and the method used was based on a literature review. The results were obtained from the development of the proposed methodological steps and the analysis of the results by comparison of the obtained data. The theoretical framework described in the study served as the guiding line for the study. The collected data pointed to the use of conventional drainage only, with great deficiencies and lack of planning, absence of integration between the services of public improvement and away from the aforementioned sustainable system.

**Keywords:** Sustainable drainage systems. Waterproofing of soils. Surface runoff.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Leito maior e menor.....	6
Figura 02 – Drenagem Convencional.....	10
Figura 03 – Trincheiras de Infiltração.....	13
Figura 04 – Corte Transversal de uma Trincheiras de Infiltração.....	14
Figura 05 – Tipos de filtros em um sistema de drenagem – granulares, geotêxtil e misto.....	14
Figura 06 – Exemplo dos diferentes tipos de pavimento.....	16
Figura 07 - Pavimento poroso em asfalto; Pavimento poroso em concreto; Pavimento permeável com blocos pré-moldados de concreto.....	17
Figura 08 – Aplicações de geotêxtil.....	18
Figura 09 – Mapa de localização de Araguaína – TO.....	21
Figura 10 – Localização da área do Fórum de Araguaína - TO.....	22
Figura 11 – Área do Estacionamento do Fórum.....	22
Figura 12 – Localização da Área da bacia do Rio Lontra Araguaína - TO.....	23
Figura 13 - Precipitação pluviométrica entre os anos 2000 e 2010 nas no município de Araguaína – TO.....	33
Figura 14 - Precipitação pluviométrica mensal do ano de 2009 no município de Araguaína - TO.....	33
Figura 15 – Tipos de solos Atlas do Tocantins.....	34
Figura 16 - curva de Intensidade – Duração – Frequência (curva IDF) .....	35
Figura 17 – Fator de Forma da Bacia Rio Lontra – Araguaína - TO .....	35
Figura 18 – Coeficientes para calcular a Curva do IDF.....	37
Figura 19 – Exemplo de concepção e pavimentos drenantes com a capacidade de acumulação e infiltração de águas de chuva. ....	42
Figura 20 – Preparação do terreno.....	42
Figura 21 – Instalação da rede de drenagem.....	42
Figura 22 – Instalação da manta de geossintético.....	42
Figura 23 – Espalhamento da Brita, e assentamento dos blocos.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tempo de retorno em função da área ocupada.....	24
Tabela 02 – Tipos de solo considerados pelo SCS para escolha do CN.....	27
Tabela 03 – Taxas de infiltração para diferentes materiais.....	29
Tabela 04 – Valores de porosidade para diferentes tipos de solo.....	30
Tabela 05 – Valores do fator de segurança .....	31
Tabela 06 – Orçamento da Rede de drenagem Convencional.....	30
Tabela 07 – Orçamento da Rede de drenagem com Trincheiras de Infiltração.....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

CEULP/ULBRA Centro Universitário Luterano de Palmas

DNIT - Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes

IDF - Intensidade Duração e Frequência

CN - Curve Number

HUS - Hidrograma unitários sintéticos

CBR - Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1. Objetivos</b> .....	<b>4</b>
1.1.1. Objetivos Gerais .....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
<b>1.2. Justificativa</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. Problema</b> .....	<b>5</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. Urbanização e Inundações</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2. Drenagem Urbana</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3. Drenagem Convencional</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4. Drenagem Sustentável</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Trincheira de Infiltração .....	13
2.4.2. Pavimento Permeável .....	15
<b>2.5. Conceitos Hidrológicos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.6. Geossintéticos</b> .....	<b>18</b>
2.6.1. Propriedades do Geossintéticos.....	19
2.6.2. Geossintéticos em Obras de Drenagem.....	19
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1. Tipo de Estudo</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2. Caracterização do Local de Implantação</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3. Estudo Hidrológico</b> .....	<b>23</b>
<b>3.4. Trincheira de Infiltração</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5. Pavimento Permeável</b> .....	<b>31</b>
<b>4. RESULTADO</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1. Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Lontra</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2. Dimensionamento das Trincheiras de Infiltração</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3. Dimensionamento do Pavimento Permeável</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4. Processos Construtivos e Aplicações de Drenagem Sustentável</b> .....	<b>41</b>
<b>4.5. Orçamento Expedido</b> .....	<b>44</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais naturais em obras de drenagem muitas vezes onera o custo do sistema, devido à necessidade de explorar jazidas, transportar os materiais, e exigir um maior período para a instalação. Através desta percepção, a drenagem sustentável adquire seu espaço, pois a mesma proporciona grandes benefícios a curto e longo prazo.

Buscando a sustentabilidade em obras de drenagem, o uso de geossintéticos, portanto, apresenta-se como uma alternativa adequada. Estudos comprovam que as drenagens utilizando esses materiais são normalmente mais eficientes, se comparadas com as estruturas convencionais, pois além de diminuir a utilização de materiais naturais na trincheira drenante, garantem melhor escoamento superficial da água; desde que tenham sido instalados seguindo os mais rigorosos critérios de instalação e dimensionamento.

A drenagem sustentável respeita os princípios do ciclo hidrológico, promovendo sua manutenção, no tempo, no espaço e em relação à qualidade da água. Essa abordagem procura evitar os problemas decorrentes da drenagem convencional, sendo este último, geralmente, mais caro para instalar e manter.

Na NBR 12553 (ABNT, 2003), O geossintético é a “denominação genérica de produtos poliméricos, sintéticos ou naturais, industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas”. Consiste na utilização das propriedades mecânicas do geossintético para melhorar o comportamento de uma estrutura geotécnica.

Esses materiais começaram a ser utilizados no Brasil, em obras de Engenharia Civil, em meados de 1971. Os geossintéticos são utilizados principalmente em obras de filtração e drenagem, reforço de pavimento e sistemas de impermeabilização.

A sua finalidade comercial é elevar a vida útil e reduzir o custo das estruturas. Porém, a maioria dos egressos do curso de Engenharia Civil deixa a graduação sem o conhecimento de como utilizar e dimensionar tal material.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

- Comparar um projeto de drenagem convencional com uma sugestão de projeto de drenagem sustentável, com a implantação de geossintéticos, utilizando como estudo o projeto do estacionamento do Fórum de Araguaína – Tocantins.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar quantitativamente os dados hidrológicos da bacia do Rio Lontra em Araguaína - TO;
- Estudar os processos construtivos e a aplicação dos tipos de drenagem sustentável, apresentando as vantagens e desvantagens dos dois métodos executivos;
- Dimensionar trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis no estacionamento do Fórum de Araguaína - TO
- Comparar os projetos quanto a sua viabilidade técnica e econômica.

## **1.2 Justificativa**

Normalmente, as drenagens convencionais nas cidades tendem a fazer uma impermeabilização da superfície.

Mesmo com os grandes investimentos financeiros em obras hidráulicas, a dura realidade vem mostrando que inúmeras cidades brasileiras estão cada vez mais vulneráveis a episódios de enchentes.

A cidade por força de sua impermeabilização, perde a capacidade de reter as águas de chuva, lançando – as em grande volume e rapidamente sobre um sistema de drenagem, onde muitas das vezes não estão dimensionadas para suportar tamanho volume de água em tão curto período de tempo.

Analisando os grandes problemas que as águas da chuva provocam nas cidades, as drenagens sustentáveis vêm sendo utilizadas, uma vez que aliadas a um rigoroso combate aos processos erosivos, constituem uma alternativa para amenizar as inundações.

Estabelecer uma estrutura de drenagem eficiente só com uso de materiais naturais é difícil e muitas vezes oneroso. Lançar mão do uso de drenagens sustentáveis pode, dessa forma, melhorar a estrutura.

Uma das alternativas de drenagens sustentável são as trincheiras de infiltração, sarjetas e calçadas drenantes, pavimentos permeáveis onde a maioria dessas estruturas precisa do material geossintético, para que possa realmente desempenhar a função a qual foi projetada.

Como na escola tradicional não se estuda geossintéticos, esse trabalho apresentará esse material à comunidade acadêmica. Escolheu-se o uso em drenagens e filtrações, porque a água em redundância no solo geralmente é um fator negativo na construção civil, podendo impossibilitar a execução da obra.

Os geossintéticos geralmente apresentam um custo competitivo em situações em que os materiais granulares disponíveis não cumprem as especificações de projeto, são escassos, ou têm a sua utilização restringida por legislação ambiental.

### **1.3 Problema**

A ausência ou deficiência de drenagem ocasiona diversos tipos de problemas para as obras, especialmente em estacionamentos impermeáveis. Quais são as alternativas sustentáveis para drenagens urbanas?

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Urbanização e Inundações

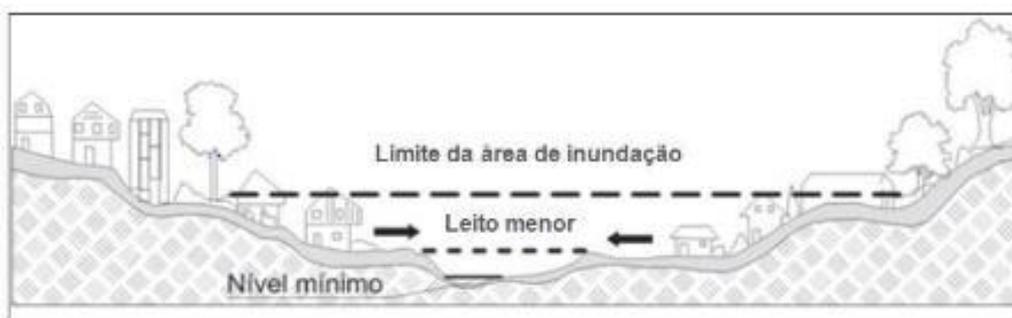
De acordo com Barbosa (2006), as cidades se desenvolveram próximas aos cursos de água, com a preservação das calhas principal e secundária dos rios, não por consciência ambiental, mas pelas dificuldades operacionais e construtivas de retificação de rios existentes na época.

Com o desenvolvimento urbano e tecnológico, o crescimento das cidades impôs um sistema de malha viária que, aos poucos, exerceu pressão e viabilidade econômica de investimentos que promovessem o saneamento das áreas ribeirinhas e a execução de obras de retificação de canais, pavimentos, pontes e, conseqüentemente, da ocupação parcial ou total da calha secundária de trechos dos cursos de água ou de áreas de alagamentos naturais. (BARBOSA , 2006).

Segundo Tucci (2008) as inundações são fenômenos decorrentes de intensas precipitações, agravadas por interferências antrópicas no meio ambiente, que impossibilitam a infiltração e o escoamento natural da água no solo, proporcionando seu acúmulo em determinada região.

De acordo com Tucci (2008) são inundações que abrangem as cotas superiores do leito menor dos corpos hídricos, atingindo as áreas marginais, são fenômenos naturais que afetam drasticamente a população ribeirinha. Este tipo de inundação ocorre porque os cursos d'águas possuem dois leitos: o menor e maior (Figura1).

Figura 1 - Leito maior e menor



Fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 5

## 2.2 Drenagem Urbana

Conforme apresentado em Rhondia (1991) *apud* Sousa (2011) existem basicamente três tipos de drenagem: a superficial, a subterrânea e a subsuperficial.

Na drenagem superficial, basicamente a água precipita e escoar superficialmente, devendo ser conduzida por estruturas superficiais (sarjeta, canaletas e canais). Visa proteger estruturas das ações erosivas e destrutivas da água. (CARDOSO, 2014)

Por sua vez, a drenagem subterrânea é executada para controlar as águas de percolação nos solos provenientes de lençol freático. A drenagem intercepta as linhas de percolação, para que seja afastada ou removida a água de locais indesejados. Já a drenagem subsuperficial faz a captação e permite o escoamento de vazões de precipitações retidas na superfície ou evita que estas atinjam locais indesejados ao se infiltrarem. (CARDOSO, 2014)

As enchentes urbanas são um problema crônico no Brasil, devido principalmente a gerência inadequada do planejamento da drenagem. O erro se reflete na ideia preconcebida de engenheiros de que, a boa drenagem, é aquela que permite escoar rapidamente a água precipitada sobre a área de intervenção. As consequências desses erros têm produzidos custos extremamente elevados para a sociedade como um todo. No entanto, a melhor drenagem é aquela que drena o escoamento sem produzir impactos no local nem a jusante (TUCCI, 2008).

Através do intenso processo de urbanização das cidades brasileiras, principalmente na formação de regiões metropolitanas, tem gerado muitos problemas de infraestrutura urbana, especialmente em relação à drenagem de águas pluviais. A ausência do planejamento urbano na grande maioria das cidades brasileiras traz inúmeros problemas para a população que nelas residem, em decorrência dos impactos da urbanização sobre o meio ambiente. Podemos citar, como exemplo, os problemas relativos às enchentes urbanas, que podem desabrigar milhares de pessoas, gerar altos prejuízos econômicos e desenvolver doenças de veiculação hídrica. (PORTO, 2005)

Os sistemas de drenagem urbana são essencialmente sistemas preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais de cursos naturais de água. É evidente que no campo da

drenagem, os problemas agravam-se em função da urbanização desordenada. Quando um sistema de drenagem não é considerado desde o início da formação do planejamento urbano, é bastante provável que esse sistema, ao ser projetado, revele-se, ao mesmo tempo, de alto custo e deficiente. É conveniente, para a comunidade, que a área urbana seja planejada de forma integrada. (CARDOSO, 2014)

Segundo o PNSB (2010), a eficiência dos sistemas de drenagem de águas pluviais, no aspecto de redução de impactos resultantes de processos erosivos e assoreamento de corpos receptores – e a consequente prevenção de desastres com enchentes e inundações–, está diretamente relacionada à existência dos dispositivos de controle de vazão, pois estes atenuam a energia das águas e o carregamento de sedimentos para os corpos receptores, onde há a disposição final dos efluentes da drenagem pluvial

Fragoso (2009) ensina que a infiltração no solo é computada por meio de duas grandezas principais: A capacidade de campo e a velocidade de infiltração. A capacidade de infiltração, expressa geralmente em mm/h, é a medida mais utilizada. Ela pode ser entendida como a razão máxima com que um solo, em uma dada condição, consegue absorver água e atenuar essa taxa de absorção com o tempo. Já a velocidade de infiltração, pode ser definida como a velocidade média com que a água atravessa o solo, ou também, como a vazão dividida pela área da seção transversal do escoamento.

Para Botelho (1998 *apud* Andrade, 2009), para realizar o projeto de drenagem deverá ser levadas em consideração os seguintes estudos:

Estudos hidrológicos são elaborados para o Projeto de Engenharia, necessários para a determinação da descarga em cada ponto e indispensáveis para a fixação das seções a adotar e as condições de escoamento;

Projetos geométricos e de terraplenagem, fase de Projeto Básico, elaborados para o Projeto de Engenharia, definirão as obras de drenagem a projetar, bem como os estudos complementares a realizar;

Estudos topográficos elaborados em sua fase de Projeto Básico para o Projeto de Engenharia deverão ser complementados a fim de definir a implantação das obras de drenagem, utilizando medidas específicas para este fim;

Estudos geotécnicos elaborados em sua fase de Projeto Básico para o Projeto de Engenharia deverão ser complementados a fim de definir e caracterizar materiais e condições de fundação das obras a serem projetadas. De acordo com Tucci (2008, p. 68), as inundações podem ocorrer por dois processos distintos:

- Devido à ocupação de áreas ribeirinhas – eventos naturais que ocorrem no leito maior do rio devido ao ciclo hidrológico das águas
- Devido à urbanização – eventos causados pela impermeabilização do solo, canalização e/ou obstrução do escoamento.

### **2.3 Drenagem Convencional**

O sistema clássico de drenagem tem seu início nas edificações, onde a água pluvial é recolhida das áreas descobertas, como telhados, pátios e outros, chamadas de áreas de contribuição, por calhas e transportada por dentro da edificação, quando necessário, por tubulações e condutores e, finalmente, por caixas de areia no térreo da edificação. Após, a água recolhida é lançada nas galerias de águas pluviais, pelas quais são transportadas até um corpo de água próximo, podendo ser um riacho, rio, lago ou outro (HAFNER, 2007).

Pela drenagem convencional, as vazões de pico podem ser amplificadas em sete vezes, há o aumento da produção de resíduos sólidos e sedimentos, pode ocorrer a contaminação tanto das águas superficiais quanto das águas subterrâneas devido a lavagem de ruas e, como é mais comumente mencionado pela mídia, deslizamentos, inundações e danos materiais e humanos. (YAMAMOTO, 2012)

Para Tucci (2008) a consequência é que esse aumento de vazão acaba gerando uma sobrecarga no sistema de drenagem, que na maioria das vezes não comporta o crescimento urbano. Outro aspecto problemático, é a existência de grande quantidade de resíduos sólidos que são levados às redes pela água pluvial, devido a falta de educação ambiental da população, provocando a deterioração do sistema e, conseqüentemente, agravando os alagamentos localizados.

A impermeabilização do solo que ocorre em zonas urbanas, conforme figura 2, contribui para a diminuição do tempo de concentração e o aumento dos volumes

escoados superficialmente, gerando um aumento no pico da vazão a jusante da bacia hidrográfica. (BATISTA et al., 2005).

**Figura 2 – Drenagem Convencional**



**Fonte: Porto Alegre, 2005, P. 40**

A drenagem urbana convencional busca drenar ou melhor, afastar - as águas derivadas de precipitações o mais rápido possível, o que aumenta o risco de inundações a jusante. A abordagem da drenagem clássica muitas vezes não resolve o problema, apenas transfere para outro lugar. Outro problema é que essa abordagem implica em continuadas intervenções localizadas, sempre corretivas, após os eventos de inundação, exigindo investimentos cada vez maiores para implantação de estruturas capazes de comportar o aumento de vazões gerado pela urbanização. (BRITO, 2006)

Philippi Jr. et al. (2005) consideram que o sistema de drenagem básico de uma cidade deve se estruturar respeitando todos os aspectos legais, técnicos, além das dimensões econômicas, sociais, ambientais e institucionais e uma composição física mínima com pavimentação de ruas, sarjetas e meio-fio, bocas de lobos, galerias de drenagem e valas, vale ressaltar que todos esses elementos devem estar interligados e funcionando adequadamente ou o risco de ocorrer falha no sistema de drenagem é grande. Além desses instrumentos as características das bacias hidrográficas possuem papel primordial no processo de drenagem.

Segundo Tucci (2008), o sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. É constituído por uma série de medidas que visam minimizar os riscos a que estão expostas as populações, diminuindo os prejuízos causados pelos alagamentos, inundações e pode ser dividido em: micro drenagem e macrodrenagem.

Para Philippi Jr. et al. (2005), o sistema de drenagem é composto de dois tipos de intervenções no ambiente: as medidas estruturais e as medidas não estruturais. As estruturais seriam as chamadas obras hidráulicas necessárias para um bom escoamento das águas pluviais, não estruturais correspondem a propostas com objetivos de minimizar os efeitos causados pelas águas pluviais, que não implicam em grandes obras de engenharia, as duas medidas devem se complementar.

O autor coloca como principais medidas estruturais para a drenagem urbana:

a) Sistema de coleta da água de chuva no lote e lançamento na rede, que corresponde a todas as obras de coleta de água superficial no lote e transporte até a rede de drenagem.

b) Microdrenagem: trata-se de coleta e afastamento de águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, boca de lobo e bueiros. São instalados em pontos apropriados para a coleta e transporte das águas pluviais até o ponto de lançamento que podem ser os canais, córregos ou rios.

c) Macrodrenagem: compreende galerias de grande porte e os corpos receptores como canais e rios que recebem a água coletada pela microdrenagem

d) Reservatórios para controle de cheias: seriam os barramentos construídos em rios para reter o excesso de chuva e proteger áreas à jusante.

e) Reservatórios urbanos de retenção ou bacias de retenção: pequenos reservatórios construídos em determinadas áreas da cidade para conter o excesso de chuva e proteger áreas à jusante.

f) Drenagem forçada em áreas baixas: composta por sistemas de diques para evitar a invasão das águas nas áreas baixas das cidades que são ocupadas por uma

grande parcela da população, ao mesmo tempo esse sistema deve ser drenado por um sistema de bombeamento.

g) Manutenção do sistema de drenagem: essa medida é fundamental para o bom funcionamento do sistema de drenagem.

## **2.4 Drenagem Sustentável**

Os sistemas de drenagem urbana sustentável são dispositivos e técnicas desenvolvidos sobre o tripé quantidade, qualidade e amenidade/ biodiversidade, as quais devem ser alcançadas de maneira equilibrada. A Drenagem Sustentável busca compensar os efeitos da urbanização, evitando que o sistema de drenagem precise ser refeito de tempos em tempos e fazendo que o problema de inundações não seja transferido de uma região para outra, mas sim administrado. (SILVEIRA, 2003)

O controle da drenagem na fonte pode ser executado através de planos de infiltração e trincheiras, pavimentos permeáveis ou retenção. O princípio é manter a vazão pré-existente, não transferindo o impacto do novo desenvolvimento para o sistema de drenagem. Como o volume de água pluvial manejado por estes mecanismos é menor, o cidadão ou empreendedor tem uma liberdade de escolha maior de como controlar a vazão, desde que a vazão de saída não ultrapasse o permitido. E tanto a responsabilidade de operar o mecanismo como seu custo são do empreendedor, não da administração pública, como é feito atualmente. (SOUZA, 2002)

A drenagem urbana moderna deve ter os seguintes princípios (TUCCI, GENZ, 2008 apud SILVEIRA, 2012):

- Não transferir impactos para jusante;
- Não ampliar cheias naturais;
- Propor medidas de controle para o conjunto da bacia;
- Legislação e Planos de Drenagem para controle e orientação;
- Constante atualização de planejamento por estudo de horizontes de expansão;
- Controle permanente do uso do solo e áreas de risco;

- Competência técnica - administrativa dos órgãos públicos gestores;
- Educação ambiental qualificada para o poder público, população e meio técnico.

#### 2.4.1 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de Infiltração são estruturas lineares e pouco profundas que podem ser instaladas junto à superfície ou sob o solo a pequena profundidade. Elas favorecem a infiltração e o armazenamento temporário das águas pluviais. Conforme demonstra a figura 3, a mesma pode ser usadas em áreas industriais, em estacionamentos, em parques e ao longo de ruas e avenidas para infiltração de água das áreas urbanas pavimentadas. (PORTO ALEGRE, 2005, p. 40).

**Figura 3 – Trincheiras de Infiltração**

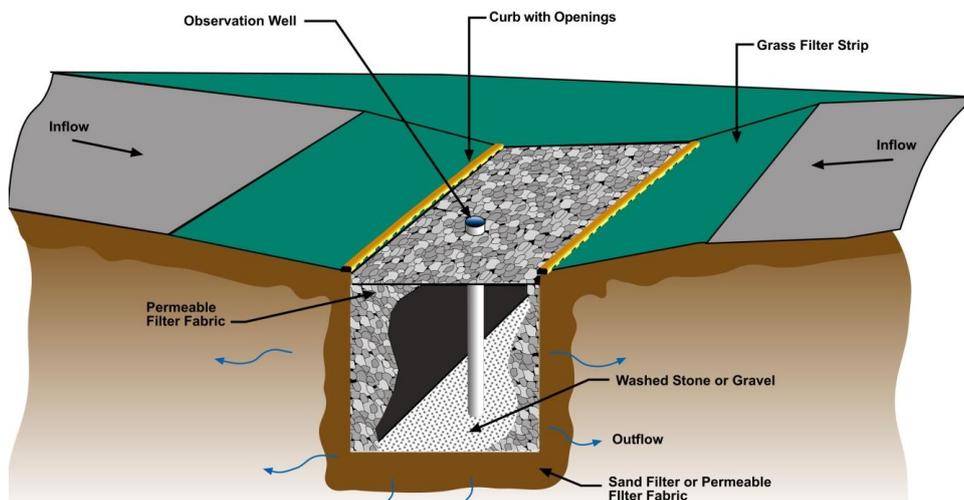


**Fonte: Souza, 2002**

Para a sua instalação é necessário que o solo tenha alta permeabilidade e o lençol freático em um nível seguro, mais baixo do que a trincheira. Este dispositivo trata-se de valas, que nos sistemas convencionais, são preenchidas total ou parcialmente com material granular, como britas e seixos. Apesar de diminuir o volume útil da trincheira, o preenchimento da vala é importante, pois estabiliza os taludes, evitando desabamentos. (SOUZA, 2002)

Nas laterais, deve ser feito o revestimento com manta geotêxtil ou com material fino, que funcionaram como filtro, visando diminuir, sua efetividade

**Figura 4 – Corte Transversal de uma Trincheiras de Infiltração**



Fonte: Souza, 2002

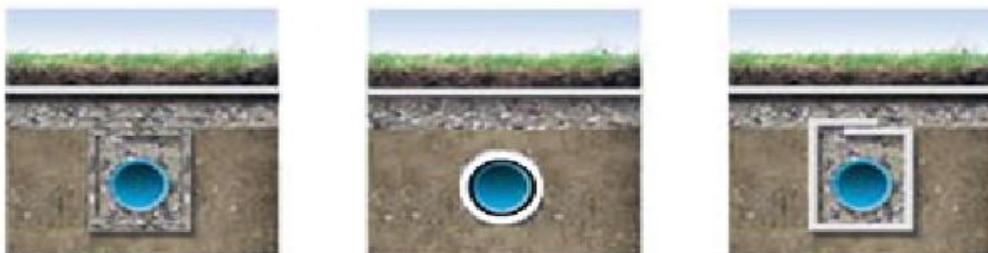
O comportamento ideal de um sistema filtrante natural é constituído por um contato íntimo solo/filtro, em que o filtro mantém intacta a estrutura do solo, retendo suas partículas mais grossas, as quais retêm partículas menores, e esta, por sua vez, retém partículas ainda menores

Assim, o filtro previne a ocorrência de *piping* ao mesmo tempo em que não impede a passagem da água, o que poderia conduzir a um aumento de altas pressões. (ICOLD, 1994 apud PIMENTA, 2013).

Os filtros devem ser construídos com areia de granulometria previamente estabelecida, a qual deve ser devidamente compactada durante a execução.

De acordo com Sousa (2011), “o uso de filtros em obras de engenharia civil veio com a necessidade de controlar a presença de água. Os primeiros filtros foram realizados utilizando materiais naturais, nomeadamente solos granulares”.

**Figura 05 - Tipos de filtros em um sistema de drenagem – granulares, geotêxtil e misto**



Fonte: FIBERTEX 2006 apud SOUSA 2011

Segundo Locke e Indraratna (2000) apud Fidelis *et al* (2016), em obras de terras os filtros granulares são empregados para proteger as partículas sólidas da erosão devido a infiltração. Bem como permitir que a água flui por meio do solo, as partículas finas podem ser carregadas pela água, conduzindo assim a erosão interna e uma eventual falha.

Segundo Palmeira (2003), a colmatagem de um filtro é causada por incompatibilidade entre as dimensões de partículas de solo e a dimensão dos poros do filtro, conduzindo a uma redução da capacidade de descarga do dreno, aumento do poropressão e perda do controle do fluxo preestabelecido.

#### 2.4.2 Pavimentos Permeáveis

O pavimento permeável é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (URBONAS E STAHRÉ, 1993).

Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas reservatório. Raimbault *et al.* (2002) afirmam que essa denominação refere-se às funções realizadas pela matriz porosa de que são constituídos: *f*

Função mecânica, associada ao termo estrutura, que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos;

Função hidráulica (associada ao termo reservatório) que assegura, pela porosidade dos materiais, reter temporariamente as águas, seguido pela drenagem, e, se possível, por infiltração no solo de subleito.

Segundo Azzout *et al.* (1994), o funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis baseia-se em:

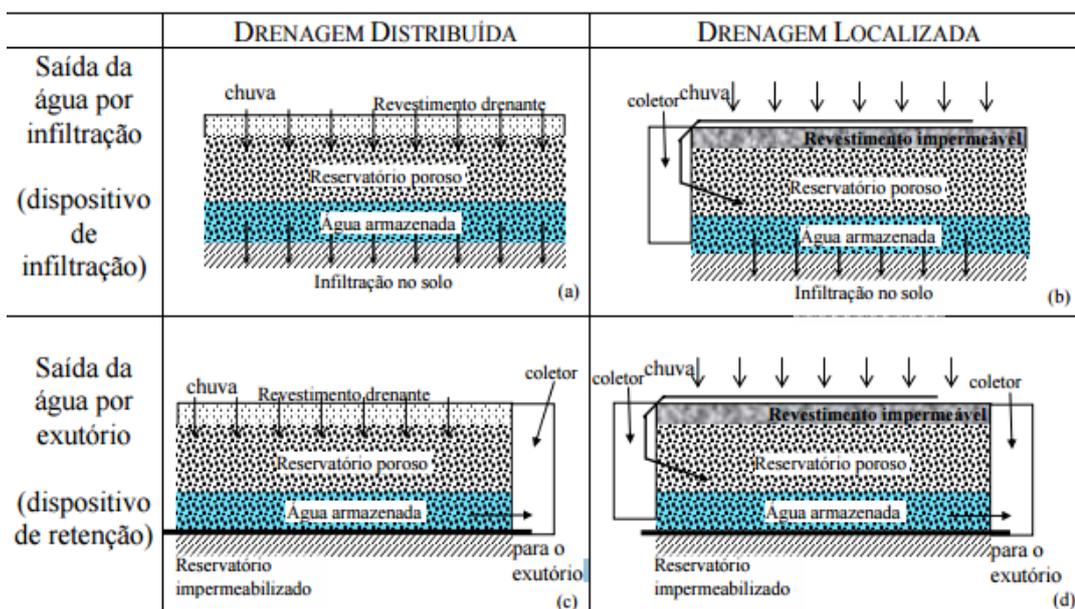
- Entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento. Essa entrada pode ser feita de forma distribuída no caso de revestimentos porosos, que permitem a penetração da água ou localizadamente através de drenos laterais ou bocas de-lobo;

- Estocagem temporária da água no interior do pavimento, nos vazios da camada reservatório;

- Evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, pela liberação lenta para a rede de drenagem, ou uma combinação das duas formas.

Azzout *et al.* (1994) caracterizam quatro tipos de pavimentos permeáveis. Segundo eles, o pavimento pode possuir revestimento drenante ou impermeável e ainda ter a função de infiltração ou apenas de armazenamento. A Figura 6 a seguir ilustra os quatro tipos de pavimento com estrutura reservatório:

**Figura 6 - Exemplo dos diferentes tipos de pavimento com reservatório estrutural**



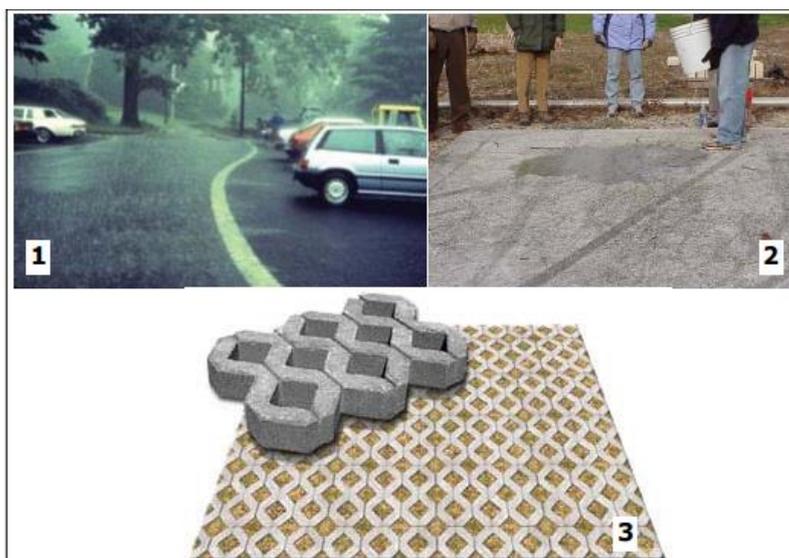
Fonte: Azzout et al, 1994

Segundo EPA (1999), algumas vantagens específicas do uso de pavimentos permeáveis são:

Tratamento da água da chuva, através da remoção de poluentes;  $f$  Diminuição da necessidade de meio-fio e canais de drenagem; Aumento da segurança e conforto em vias, pela diminuição de derrapagens e ruídos;  $f$  é um dispositivo de drenagem que se integra completamente à obra, não necessitando de espaço exclusivo para o dispositivo.

O concreto poroso e o asfalto poroso são preparados de forma similar aos pavimentos convencionais, com a diferença básica de que da mistura são retirados os agregados finos (areia), dando a eles a porosidade necessária para a infiltração da água da chuva (Urbonas e Stahre, 1993).

**Figura 7 - (1) Pavimento poroso em asfalto; (2) Pavimento poroso em concreto; (3) Pavimento permeável com blocos pré-moldados de concreto**



Fonte: Azzout et al, 1994

Existem diversos tipos de asfaltos com propriedade drenante, tendo cada um seus componentes e aplicações. Dentre eles, estão: o asfalto puro sem aditivos minerais, o asfalto puro com aditivo mineral ou orgânico, o asfalto enriquecido com polímeros e o asfalto com borracha.

## 2.5 Conceitos hidrológicos

A caracterização física da bacia hidrográfica, em termos de relevo, rede de drenagem, forma e área de drenagem, constitui o que se denomina de fisiografia. Para essa caracterização são utilizados mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite (sensoriamento remoto) e levantamentos topográficos. (PAZ, 2004)

Para Carvalho (2006) os estudos hidrológicos baseiam-se em elementos observados e medidos no campo, estabelecimento de postos pluviométricos ou fluviométricos e sua manutenção ininterrupta são as condições necessárias. Projetos de obras futuras são elaborados com base em elementos do passado.

Os estudos das cheias máximas servirão para o dimensionamento dos extravasores, obras de desvio e operação com risco controlado do reservatório, enquanto os de vazão mínima são importantes para o tipo de turbina hidráulica e operação da central hidrelétrica, sob o ponto de vista técnico, econômico, sanitário e ecológico (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009).

## 2.6 Geossintéticos

### 2.6.1 Definição

De acordo com a norma NBR 12553/2003, os geossintéticos são materiais sintéticos produzidos a partir de diversos tipos de polímeros, industrializados, tornando melhor as obras geotécnicas, pois estes podem ter suas propriedades físicas e químicas adaptadas às aplicações para as quais estão sendo produzidas.

Segundo Vertematti (2015) e conforme definido pela NBR ISSO 10318, as principais funções desempenhadas pelos geossintéticos são:

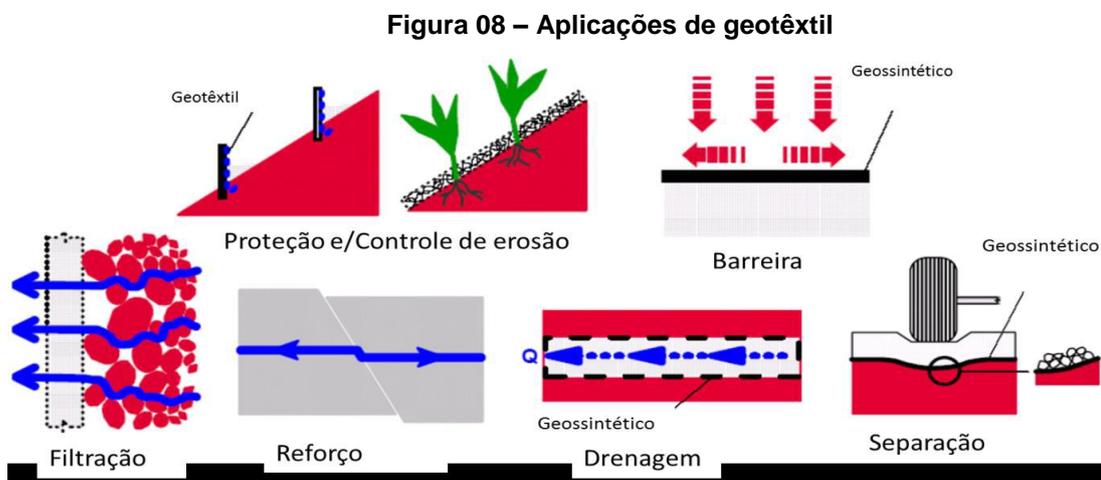
**Controle de Erosão Superficial:** Utilizado para evitar a erosão superficial de partículas de solos devido ao escoamento superficial de um fluido;

**Drenagem:** Coleta e condução de um fluido (águas fluviais, águas subterrâneas e outro fluido) pelo corpo do geossintético;

**Filtração:** É utilizado para retenção do solo ou de outras partículas, enquanto permite a livre passagem do fluido em movimento;

**Reforço:** Através das propriedades mecânicas de um geossintético é empregado para melhorar o comportamento mecânico do solo ou materiais de construção.

Em alguns projetos opta-se por arranjos utilizando geocomposto produzidos para fins de drenagem, sendo estes constituídos de uma camada de georede, geomanta ou geoespaçador, combinada a camada (s) de geotêxtil (eis). A Figura 8 ilustra algumas aplicações de geotêxtis em obras de terra.



### 2.6.1 Propriedades dos Geossintéticos

Para que os geossintéticos possam cumprir com eficiência a função determinada, deve desempenhar um conjunto de propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas, para que ao longo do período de vida útil da obra não venha a sofrer determinadas patologias. Essas propriedades são estudadas em laboratórios onde basicamente são realizados dois tipos de ensaios: ensaios de caracterização e ensaios de comportamento. (VERTEMATTI, 2015)

Os ensaios de caracterização determinam as características básicas do produto, sem levar em consideração sua interação com meio em que será aplicado e nem o processo de solicitação imposto pela obra. Estas propriedades estão ligadas aos produtos e independem das condições de utilização. (VERTEMATTI, 2015)

Já os ensaios de comportamento são aqueles que levam em consideração as solicitações impostas pela obra, como por exemplo: condições de instalação, modo, tempo e intensidade das solicitações, condições ambientais e interação com o meio confinante. (VERTEMATTI, 2015)

### 2.6.2 Geossintéticos em Obras de Filtração e Drenagem

O geossintético exerce papel similar a um filtro de areia, permitindo a livre passagem de água através do solo enquanto retém as partículas sólidas, utilizando o geossintético substituem uma ou mais camadas de materiais naturais, diminuindo assim o custo com o transporte. Além disso, sendo executado dentro dos padrões aumenta a qualidade da obra.

As principais vantagens segundo Aguiar (1994) *apud* Vertematti (2015), as principais vantagens dos geossintéticos em relação aos filtros granulares são:

- Menor dimensão do filtro;
- As propriedades são controladas na fabricação por se tratar de um produto industrial;
- Além da facilidade na instalação apresenta baixo custo, quanto comparado com filtros granulares.

Um projeto de filtração é de extrema importância em uma obra de terra, pois o mesmo evita a erosão interna, a baixa permeabilidade ou a colmatação. O geotêxtil

quando utilizado como filtro à manta retém os fragmentos mais grossos, liberando assim a passagem somente das partículas mais finas.

Para dimensionamento de um filtro, devem ser considerados três aspectos principais: o tipo de fluxo que por ele irar percolar; o tipo de aplicação do filtro e o tipo do solo da fundação. (REMÍGIO, 2006)

Em Aguiar (1994) *apud* Vertematti (2015), as principais propriedades que deverão ser relacionadas nos sistemas filtrantes são: o diâmetro da filtração, flexibilidade, permeabilidade, resistência à agressividade do meio ambiente e a energia de deformação absorvida.

Em uma estrutura de drenagem, é possível um ou mais geossintéticos com função drenante, os que são mais utilizados no mercado são: os Geotexteis espessos, os geoespaçadores, as georrede, geomantas e os geocomposto drenante.

Segundo Aguiar (1994) os serviços de drenagem, até determinado período, eram realizados com elementos naturais, particularmente areia e brita. Nos dias atuais os geossintéticos vêm sendo cada vez mais utilizados, devido às suas vantagens, como melhor capacidade de fluxo, facilidade no transporte e armazenamento, sem contar a redução de mão de obra e tempo de instalação. (REMÍGIO, 2006)

A cada dia o geossintético vem se sofisticando nos sistemas drenantes, aonde vai surgindo novos produtos com desempenho mais elevado. Segundo Aguiar, 1994 *apud* Vertematti (2015), as principais vantagens na utilização dos geossintéticos são: Mesmo que seja aplicado em superfícies irregulares desempenham sua função. Permitem uma redução significativa na espessura dos sistemas, adquirindo assim maior espaço na obra, Redução significativa no cronograma e custo, pois são facilmente manuseados.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo do Estudo

Para que os objetivos apresentados nesse estudo fossem obtidos, apresenta-se neste capítulo o método utilizado para a conclusão da pesquisa.

Iniciou-se o trabalho pela revisão bibliográfica para obter informações que auxiliem no desenvolvimento da pesquisa. Este estudo trata-se uma pesquisa de cunho teórico conceitual, baseado em pesquisa bibliográfica e revisões da literatura referente a temática escolhida.

Para o desenvolvimento deste projeto, foram utilizados artigos científicos, pesquisas em sites acadêmicos, livros como o Manual Brasileiro de Geossintético (Vertematti, 2015), Drenagem Urbana e Controle de Enchentes (Canholi, 2014) e o Cidades e Geologia (Santos, 2017) e periódicos de importância para a área. O estudo FOI realizado de agosto de 2016 a maio de 2017, em consulta a referências bibliográficas.

#### 3.2 Caracterização do Local de Implantação

A área de implantação foi no município de Araguaína, onde o mesmo está localizado ao norte do estado do Tocantins, com uma área de 4.000 km<sup>2</sup> e distancia-se a 380 km da capital Palmas/TO. Para que fosse possível realizar a comparação utilizou - se o projeto de drenagem convencional com a sugestão do projeto de drenagem sustentável.

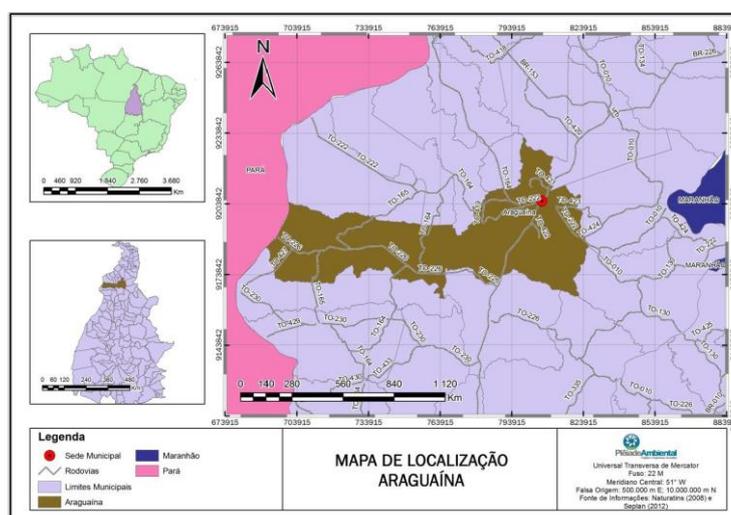


Figura 9 – Mapa de localização de Araguaína – TO

O local de estudo foi escolhido em função da representatividade para o município e o mesmo se encontrar próximos de outros dois prédios públicos, sendo a ADAPEC e o Corpo de Bombeiro conforme a figura 10, e o estacionamento dos mesmos ser de pavimento impermeável, com alguns sistemas tradicionais de coleta de água de pluviais, e em épocas de chuvas, apresentam grades problemas quanto as inundações, devido a elevação do lençol freático do local.

**Figura 10 – Localização da área do Fórum de Araguaína - TO**



**Fonte: Google Earth**

O tráfego no estacionamento foi considerado leve, pois não há o acesso rotineiro de veículos pesados, além de a área servir apenas como estacionamento, não servindo de acesso para outras áreas. Na Figura 11, pode-se observar uma foto com a localização do estacionamento.



**Figura 11 – Área do Estacionamento do Fórum**

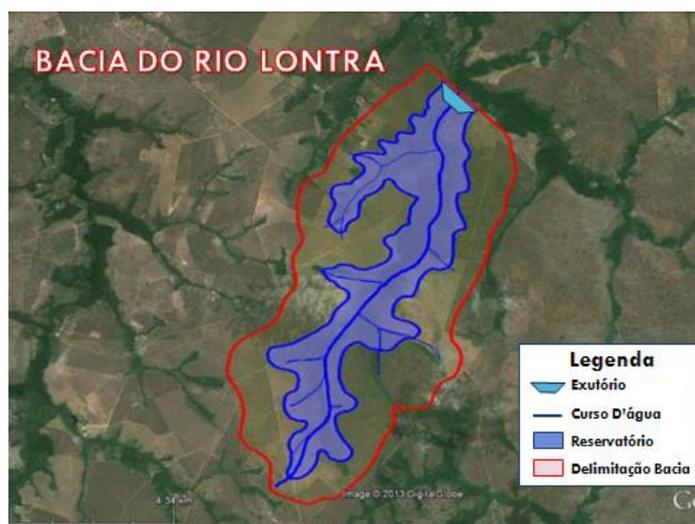
A partir da análise da área em estudo e das normas técnicas e diretrizes recomendadas pela Norma DNIT 030-2004, Drenagem – Dispositivo de drenagem pluvial Urbana, para a elaboração dos projetos de drenagem urbana, foi dimensionado o sistema de drenagem convencional e, em seguida, o sistema de drenagem sustentável. Posteriormente, foram avaliados e comparados os custos e os benefícios técnicos dos sistemas.

### 3.3 Estudo Hidrológico

Foi realizado estudo hidrológico do Rio principal de Araguaína, com o objetivo de levantar dados hidrológicos, através deste estudo foi possível compreender fundamentalmente as características hidráulicas e geomorfológicas da bacia, suas condições de impermeabilização, tempo de concentração, bem como as precipitações de projeto.

A Bacia do Rio Lontra é responsável por receber as águas pluviais da zona urbana de Araguaína, oriundas do escoamento superficial. Entretanto, esta bacia é composta por bacias menores, de cursos d'água que são afluentes diretos do Rio Lontra.

**Figura 12 – Localização da Área da bacia do Rio Lontra Araguaína - TO**



Fonte: Google Earth

- Rio Principal: Rio Lontra
- Área da Bacia Hidrográfica (km<sup>2</sup>): 44.199544,2877 m<sup>2</sup> - 44,199 km<sup>2</sup>

- Perímetro (m): 31.856,659661 m – 31,856 km

As bacias urbanas são classificadas quanto ao seu porte, utilizando-se como critério de classificação sua área de drenagem e/ou seu tempo de concentração:

Bacias de pequeno porte: apresentam tempo de concentração inferior a 1 hora e/ou área de drenagem menor que 2,5 km<sup>2</sup>.

- Bacias de médio porte: apresentam tempo de concentração entre 1 e 12 horas e/ou área de drenagem entre 2,5 e 1.000 km<sup>2</sup>.

- Bacias de grande porte: apresentam tempo de concentração superior a 12 horas e/ou área de drenagem maior que 1.000 km<sup>2</sup>.

A classificação correta é de extrema importância, uma vez que a partir da mesma escolhe-se o método adequado de cálculo para transformação da chuva de projeto em vazão de projeto.

Tempo de Recorrência (ou Tempo de Retorno)

$$Tr = \frac{1}{fr(\cong P)} \quad (I)$$

O tempo de retorno a ser adotado depende do tipo e da relevância da obra de engenharia, como mostra a tabela 1. Com isso, essa escolha está associada à adoção do risco que deve ser adequado ao grau de proteção conferido a população, o que também inclui a necessidade posterior de reparos da construção.

**Tabela 1 – Tempo de retorno em função da área ocupada**

Tipos de obra	Padrões de ocupação	T [anos]
Microdrenagem	residencial	2
	comercial	5
	aeroportos	2-5
	comercial densa – vias principais	5-10
Macro-drenagem	comerciais e residenciais	50-100
	específicas	500

**Fonte: PAZ, 2004**

Chuva de Projeto: Denomina-se chuva de projeto a intensidade pluviométrica determinada a partir da equação IDF (intensidade, duração e frequência), Equação 4, cujos parâmetros (a, b, c, d) são obtidos através de estudos estatísticos de dados

pluviográficos ao longo de um intervalo de tempo. Através da chuva de projeto, determina-se a vazão de projeto que irá escoar.

$$I = \frac{a \times Tr^b}{(t+c)^d} \quad (\text{II})$$

Sendo:

I – Intensidade de precipitação (mm/h)

TR – Tempo de recorrência (anos)

t – duração da precipitação (minutos)

a, b, c, d – parâmetros relativos ao regime pluviográfico local obtidos através de análise estatística dos dados históricos de precipitação.

Tempo de Concentração: uma característica importante do hidrograma de uma bacia é o tempo de concentração ( $t_c$ ), definido como sendo o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o ponto (seção) analisado. Em outras palavras, o tempo de concentração também pode ser entendido como o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia se desloque até a seção analisada.

$$t_c = 57 \times \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (\text{III})$$

Sendo:

$t_c$  – tempo de concentração (minutos)

L – comprimento do curso d'água (km)

H – diferença de nível entre o ponto mais afastado da bacia e o ponto considerado (m)

O coeficiente de impermeabilidade é classificado em quatro categorias de acordo com o grau de urbanização da área do projeto, a saber: áreas densamente urbanizadas ( $r = 0,85$ ), zona residencial urbana ( $r = 0,60$ ), zona suburbana ( $r = 0,40$ ) e zona rural ( $r = 0,25$ ).

Área de Contribuição (A): é denominada como a área de cada sub-bacia de contribuição obtida pela divisão da área de cada bacia em áreas contribuintes para os diversos poços de visita cujo resultado deve ser dado em hectares.

Coeficiente de compacidade (Kc): é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia.

$$Kc = \frac{PBH}{PC} \qquad Kc = \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (IV)$$

O Kc é sempre um valor > 1 (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o Kc (mais próximo da unidade), mais circular é a bacia, menor o Tc e maior a tendência de haver picos de enchente.

Forma da bacia: A forma da bacia, obviamente, é função da delimitação da área da bacia e tem influência no tempo transcorrido entre a ocorrência da precipitação e o escoamento no exutório. Em bacias de formato mais arredondado esse tempo tende a ser menor do que em bacias mais compridas.

Esse coeficiente é definido pela relação entre a largura média da bacia e o comprimento axial do curso d'água principal. A largura média L é calculada pela expressão:

$$Kf = \frac{L}{Lc} \frac{A}{Lc^2} \qquad (V)$$

Declividade do curso d'água principal: para dois pontos quaisquer do curso d'água, a declividade é determinada pela relação entre a diferença total de elevação do leito (cotas) e a distância horizontal entre eles:

$$Dc = \frac{\Delta Cota}{Dist.Horiz.} \qquad (VI)$$

Área de drenagem: é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre os seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas.

A definição do valor de CN é feita por consulta a valores tabelados, em função do tipo do solo, da umidade antecedente do solo (condições de umidade do solo anteriormente à ocorrência da precipitação que está sendo analisada), e do tipo de atividade/ocupação que é desenvolvida na bacia.

**Tabela 2 – Tipos de solo considerados pelo SCS para escolha do CN.**

Condições	A	B	C	D
Florestas	41	63	74	80
Campos	65	75	83	85
Plantações	62	74	82	87
Zona Comercial	89	92	94	95
Zona Industrial	81	88	91	93
Zona Residencial	77	85	90	92

- CN (Curva-Número) é um parâmetro que caracteriza o uso e ocupação do solo, utilizado no Método do Soil Conservation Service (SCS), que possui grande influência na determinação da precipitação efetiva. Ele é muito importante, por exemplo, no dimensionamento da drenagem urbana, o que influencia no custo da rede de drenagem.

Fonte: PAZ, 2004

Para estimar o valor de S, estabeleceu-se a relação desse parâmetro com um outro, o chamado *CurveNumber* (CN), que não possui significado físico em si mas tem seu valor diretamente relacionado ao tipo e umidade do solo e à ocupação da bacia.

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

Um dos hidrogramas unitários sintéticos (HUS) mais comuns é o do SCS, que possui uma forma triangular, sendo suas dimensões especificadas pelas relações abaixo:

$$d = 0,133 \times tc \quad (\text{VIII})$$

$$tb = 2,67 \times tp \quad (\text{IX})$$

$$Qp = 2,08 \frac{A}{tp} \quad (\text{X})$$

onde:

$d$  é a duração da precipitação (h);

$t_c$  é o tempo de concentração da bacia (h);

$t_p$  é o tempo de pico do HUS (h);

$t_b$  é o tempo de base do HUS (duração do escoamento superficial – h);

$Q_p$  é a vazão de pico do HUS ( $m^3/s$ );  $A$  é a área da bacia ( $km^2$ ).

### 3.4 Dimensionamento da Trincheira de Infiltração

Para efeitos de dimensionamento hidráulico, a abordagem de uma trincheira de infiltração é similar à utilizada para os sistemas de infiltração, podendo recorrer-se a um método simplificado ou a simulação numérica

Para o dimensionamento, será unicamente considerada a contribuição das áreas impermeáveis para o caudal afluyente à trincheira. Tendo em conta tal simplificação, o coeficiente de escoamento ( $C$ ) toma valores entre 0,85 e 0,95 (Ballard *et al.*, 2007).

Tal dimensionamento é realizado com base no balanço hídrico, expresso pela Equação XI - equação da continuidade:

$$Va = Qa - Qi \quad (XI)$$

em que:

$Va$  - Volume de armazenamento;

$Qa$  - Caudal afluyente à trincheira de infiltração;

$Qi$  - Caudal infiltrado durante o período de precipitação.

O caudal afluyente é dado pela Equação XII, e calculado com base nas curvas IDF do local (Figura 10) onde será implantada a trincheira de infiltração:

$$Qa = \frac{C \times I \times AD}{3600} \quad (XII)$$

em que:

$Qa$  - Caudal afluyente ao sistema ( $m^3/s$ );

$C$  - Coeficiente de escoamento;

$I$  - Intensidade de precipitação para  $Tr=10$  anos (m/h);

$AD$  - Área drenada ou área de contribuição da bacia ( $m^2$ ).

O caudal infiltrado pode ser estimado através do produto da superfície ativa de infiltração ( $A_i$ ) pela capacidade de absorção do solo (taxa de infiltração,  $q$ ) - Equação XIII:

$$Q_i = A_i \times q \quad (\text{XIII})$$

De forma simplificada, o volume de armazenamento da trincheira pode ser estimado através do quociente do volume de armazenamento pela porosidade do material de preenchimento. Para avaliar a altura máxima de água armazenada na trincheira de infiltração pode seguir-se o procedimento proposto por Ballard et al. (2007) para sistema de infiltração 3D.

De preferência, a capacidade de infiltração de um solo deve ser avaliada in situ, com base em ensaios de permeabilidade, e à profundidade a que ficará a estrutura (Ballard *et al.*, 2007).

#### 3.4.1 Determinação da capacidade de infiltração do solo

Os valores constantes da tabela 3 são apenas indicativos da taxa de infiltração para cada tipo de solo, uma vez que podem apresentar variações significativas em função da estrutura do solo. Por esta razão, o planeamento para a implantação de trincheiras de infiltração não deve ser realizado considerando apenas a classificação do solo.

**Tabela 3 – Taxas de infiltração para diferentes materiais**

Tipo de Solo	Taxa de Infiltração (m/h)
Gravilha	10-1000
Areia	0.1-100
Areia Argilosa/Franca	0.01-1
Franco Arenoso	0.005-0.5
Franco	0.001-0.1
Franco Siltoso	0.0005-0.05
Franco-argilo-arenoso	0.001-0.1

Fonte: Adaptado de Ballard et al., 2007)

### 3.4.2 Determinação da porosidade do material

O valor da porosidade ( $n$ ) pode ser obtido através de ensaios laboratoriais, ou utilizando os valores típicos indicados na tabela 4, Onde a porosidade utilizada foi de 0,30.

**Tabela 4 – Valores de porosidade para diferentes tipos de solo**

Material	Porosidade ( $n$ )
Sistemas Geo - Celulares (blocos de drenagem)	0.9-0.95
Pedra Lavada	0.4-0.5
Gravilha Uniforme	0.3-0.4
Areia ou Gravilha Graduada	0.2-0.3

**Fonte: Adaptado de Ballard et al., 2007)**

3.4.3 Determinar a área drenada ( $AD$ ) e arbitrar as dimensões da estrutura de infiltração Para o caso de trincheiras de infiltração, as dimensões a arbitrar serão o comprimento e a largura.

3.4.4 Calcular a área da base ( $Ab$ ) e o perímetro da estrutura de infiltração ( $P$ )

3.4.5 Determinar o valor de  $b$  através da Equação XIV:

$$b = \frac{P \times q}{Ab \times n} \quad (\text{XIV})$$

Onde;

$P$  - Perímetro do sistema de infiltração (m);

$q$  - Taxa de infiltração do solo (m/h);

$Ab$  - Área da base da trincheira de infiltração ( $m^2$ );

$n$  - Porosidade do material de enchimento

3.4.6 Escolher a duração da precipitação  $DP$ , em horas.

3.4.7 Determinar a intensidade de precipitação,  $I$ , (mm/h), através da curva IDF adequada ao local de implantação da trincheira.

3.4.8 Determinar o valor do parâmetro  $a$  através da Equação XV.

$$a = \frac{Ab}{p} - \frac{A \times I}{p \times q} \quad (\text{XV})$$

Onde;

$Ab$  - Área da base da trincheira de infiltração ( $m^2$ );

$P$  - Perímetro do sistema de infiltração (m);

$A$  - Área drenada ( $m^2$ );

$I$  - Intensidade de precipitação para  $Tr = 10$  anos (mm/h);

$q$  - Taxa de infiltração do solo (m/h).

3.4.8 Calcular a altura máxima de água armazenada, (h Máx.), em metros A altura máxima de água armazenada é dada pela Equação 12:

$$hmáx = ax(e^{-b \times DP} - 1) \quad (XVI)$$

### 3.5 Dimensionamento de Pavimento Permeável

#### 3.5.1 Determinação da taxa de infiltração

A taxa de infiltração deve ser expressivamente maior que a intensidade de precipitação para evitar a formação de poças de água superficiais. Normalmente, a taxa de infiltração de superfícies permeáveis é significativamente maior do que a intensidade de precipitação, não sendo um fator restritivo para a utilização de pavimentos permeáveis.

Para o dimensionamento foram utilizadas as taxas de infiltração apresentadas na tabela 3.

#### 3.5.2 Determinação de hmáx:

a) determinar - se a taxa de infiltração  $q$  (m/h) (tabela 5) e aplicar o fator de segurança (F) adequado na tabela 4

**Tabela 5 – Valores do fator de segurança F**

Área Drenada (m <sup>2</sup> )	Consequências da Falha de Capacidade do Sistema		
	Sem danos ou inconvenientes	Inconvenientes menores	Inconvenientes graves ou danos em edifícios ou estruturas
<100	1.5	2	10
100-1000	1.5	3	10
>1000	1.5	5	10

**Fonte: Adaptado de Ballard et al., 2007)**

b) determinar - se a porosidade do material em laboratório ou com base no Quadro II.6.

c) determinar a área a ser drenada  $AD$  ( $m^2$ ) e a área de infiltração (área do pavimento permeável)  $Ab$  ( $m^2$ ), calcular  $R$  pela Equação XVI

$$R = \frac{A}{AP} \quad (XVI)$$

d) escolher a duração da precipitação,  $DP$  (h), e determinar a intensidade de precipitação correspondente,  $I$  (m/h)

e) verificar se  $q$  é maior que  $R$ . Se sim, então a taxa de infiltração excede a taxa de escoamento e  $hmáx = 0$ .

Sendo  $hmáx = 0$ , significa que o pavimento não apresenta camadas com função hidráulica de armazenamento. Ou seja, a sub-base terá função meramente estrutural. Se  $q$  é menor que  $R$ , então calcula-se  $hmáx$  pela Equação XVII.

$$hmáx = \frac{DP}{n} \times (R \times I - q) \quad (XVII)$$

em que:

$hmáx$ . - Altura máxima de água no reservatório (m)

$DP$  - Duração da precipitação (h)

$n$  - Porosidade do material da camada reservatório

$I$  - Intensidade de precipitação para o período de retorno adotado (m/h)

$q$  - Taxa de infiltração com o fator de segurança aplicado (m/h)

A condição de  $R=1$  acontece quando não existe contribuição de outras áreas impermeáveis, ou seja, apenas se contabiliza para o dimensionamento a precipitação que cai sobre o pavimento. Assim sendo, a área drenada toma o mesmo valor que a área de infiltração. A espessura da sub-base requerida para o armazenamento será um valor igual ou superior a  $hmáx$ . Nos pavimentos permeáveis em que os materiais da sub-base não apresentam características que permitam o armazenamento, a água vai acumular-se à superfície.

## 4 RESULTADOS E DISCURSÕES

### 4.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Lontra

Na figura 13 apresenta -se o gráfico de séries anuais obtidos da região de Araguaína - TO no período de 2000 a 2010.

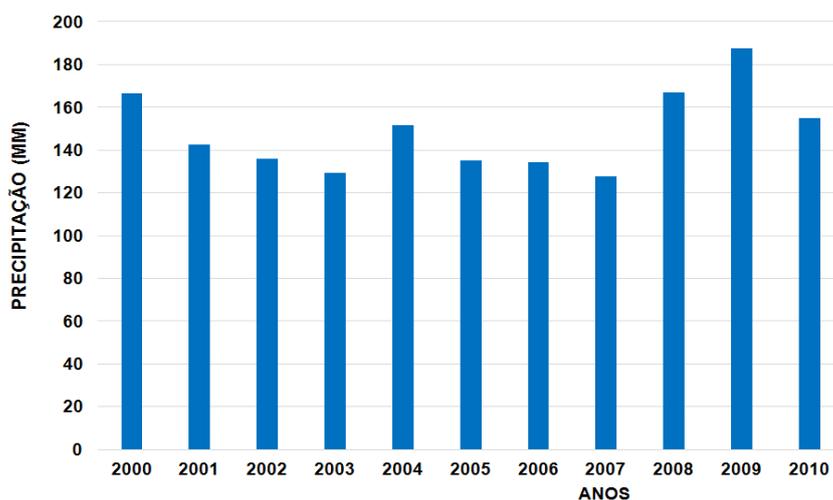


Figura 13 - Precipitação pluviométrica entre os anos 2000 e 2010 no município de Araguaína - TO

Fazendo uma análise da figura 13, percebe-se uma alternância nos valores da precipitação. Por exemplo, no ano de 2009 observa-se valores mais elevados no gráfico (P em torno de 185 mm).

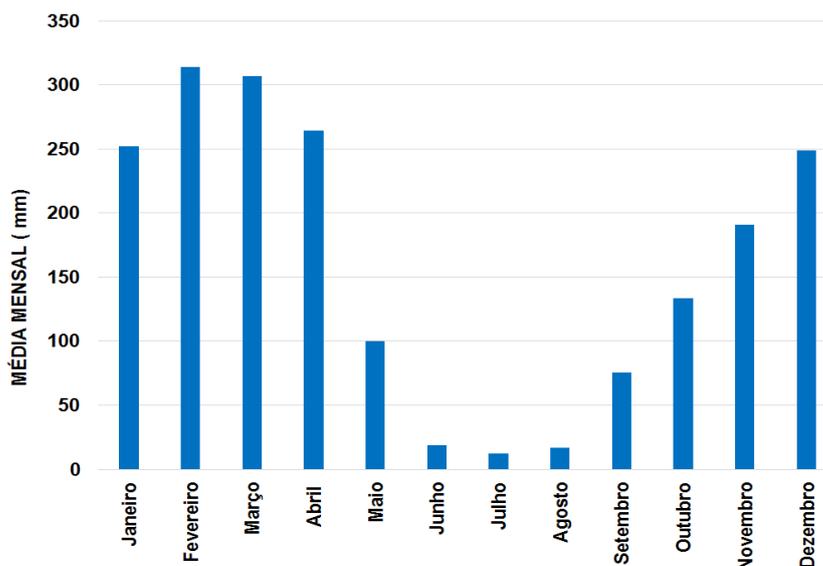
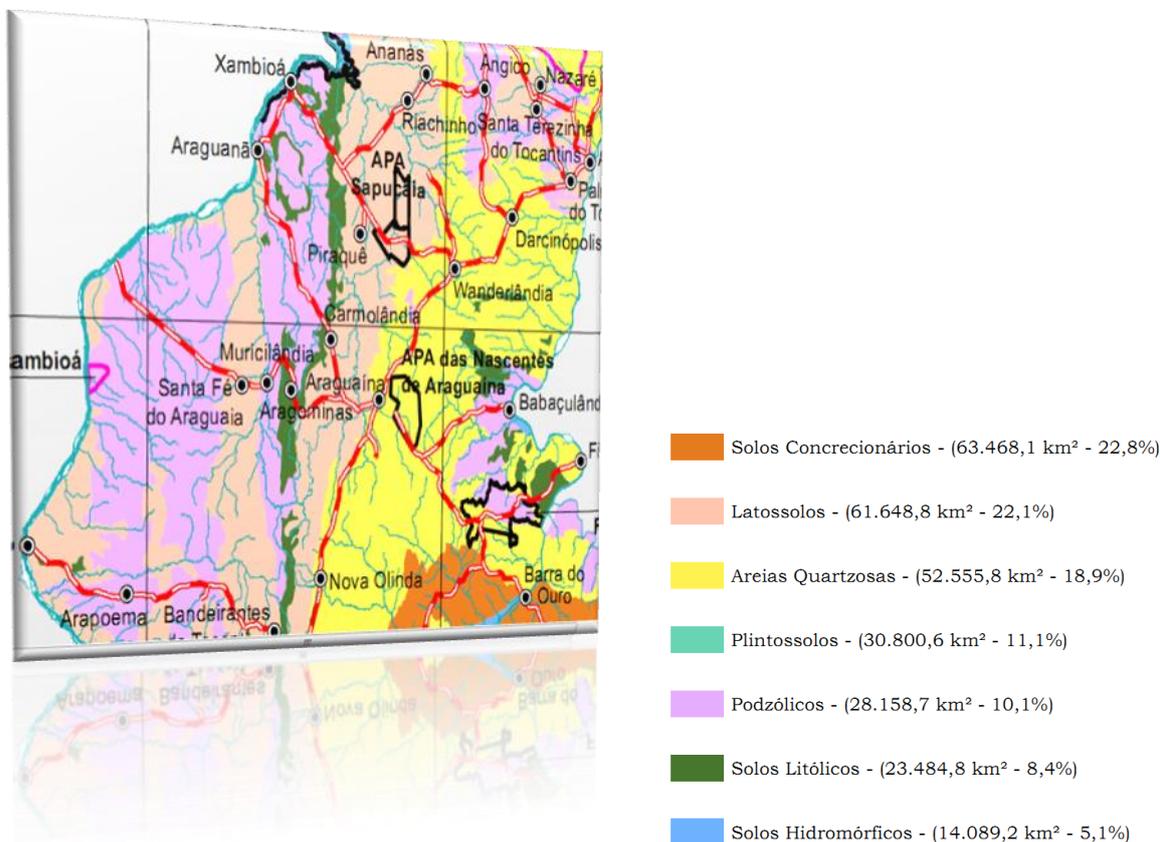


Figura 14 - Precipitação pluviométrica mensal do ano de 2009 no município de Araguaína - TO

Foi possível perceber que a média das chuvas apresenta elevada variabilidade ao longo do ano e, assim como nos valores absolutos avaliados, a maior precipitação mensal ocorreu em fevereiro com 315 mm.

**Figura 15 – Tipos de solos - Atlas do Tocantins**



**Fonte: SEPLAN**

Analisando a figura 15, é possível classificar o solo da bacia como Areia Quartzosa

Por meio da curva IDF, calcula-se a intensidade feita através da equação 8, onde o valor máximo para o município de Araguaína foi de 126,37mm/h. Para esse projeto, foi adotado um tempo de concentração de 30 minutos e tempo de recorrência de 10 anos.

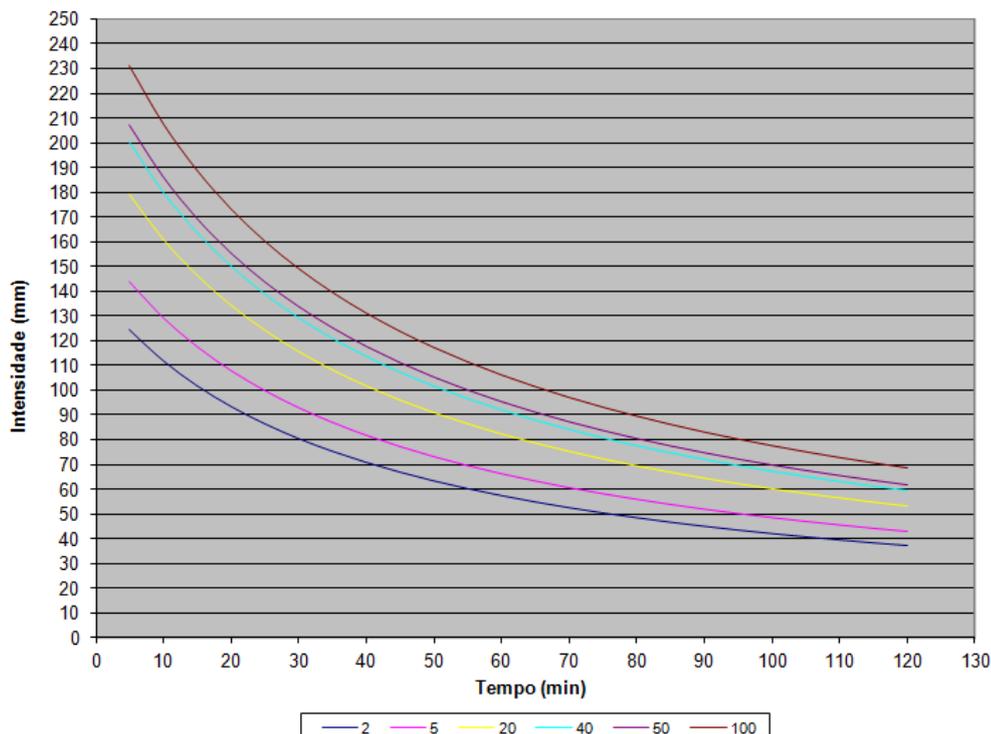


Figura 16 - curva de Intensidade – Duração – Frequência (curva IDF).

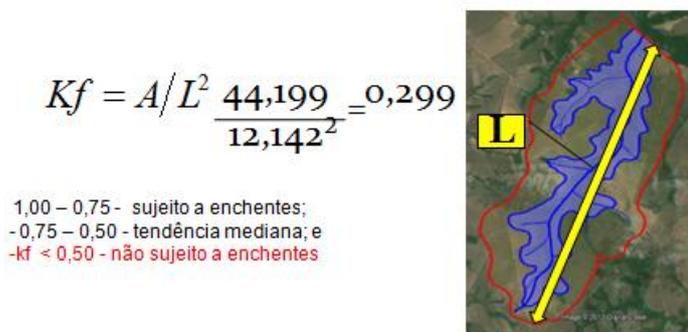


Figura 17 – Fator de Forma da Bacia Rio Lontra – Araguaína - TO

Como o coeficiente de compactidade foi de 0,299 a bacia foi classificada com não sujeito a enchentes.

O CN é tabelado de acordo com tipo de solo, e características da superfície conforme mostra a tabela 2. A bacia tem solos do tipo B e está coberta por florestas. Conforme a tabela abaixo o valor do parâmetro CN é 63 para esta combinação.

$$S = \left( \frac{25400}{63} \right) - 254$$

$$S = 149,174mm$$

Para um parâmetro de armazenamento com intensidade de 149,174 mm, a bacia gerará um escoamento de 19,352 mm.

$$Q = \left( \frac{(94,1 - 29,83)^2}{(94,1 - 29,83 + 149,174)} \right)$$

$$Q = 19,352 \text{ mm}$$

O tempo que levou para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial será de aproximadamente 9 horas.

$$t_c = 7,68 \cdot \left( \frac{12,495}{\left( \frac{45,478}{12495} \right)^{0,5}} \right)^{0,79}$$

$$t_c = 518,993 \text{ min}$$

A vazão média da Bacia estudada foi 27,467 m<sup>3</sup>/s

$$Q = \left( \frac{(19,352 * 10^{-3}) * (44,199 * 10^6)}{518,993 * 60} \right)$$

$$Q = 27,467 \text{ m}^3 / \text{s}$$

## 4.2 Dimensionamentos das Trincheiras de Infiltração

Foi dimensionado uma trincheira de infiltração, para uma área de 4760 m<sup>2</sup>, considerando um período de retorno de 20 anos, sendo a taxa de infiltração no solo de 40 mm/h e, a porosidade do material é considerada de 0,30 (brita 1).

 <b>Plúvio 2.1</b>  Copyright (2005) © GPRH	
<b>RELATÓRIO</b>	
<b>Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação</b>	
<b>LOCALIZAÇÃO:</b>	
<b>Localidade:</b> Araguaína	<b>Estado:</b> Tocantins
<b>Latitude:</b> 07°11'28"	
<b>Longitude:</b> 48°12'26"	
<b>PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:</b>	
<b>K:</b> 5958,929	
<b>a:</b> 0,173	
<b>b:</b> 49,741	
<b>c:</b> 0,971	

**Figura 18 – Coeficientes para calcular a Curva do IDF**

Os valores de K, a, b,c foram obtidos no software PLUVIO 2.0, para a localidade de Araguaína - TO

$$I = \frac{5958,929 \times 20^{0,173}}{(30 + 49,741)^{0,971}}$$

A intensidade obtida foi de  $I=126,37$  mm/h

- O coeficiente C para coberturas é de  $C=0,85$
- As dimensões para trincheira:
  - comprimento de 25 m
  - largura 1,50 m
  - altura 2,00 m
- Área de Infiltração

$$A_i = (2 \times 2 + 1,50) \times 25 = 137,50 \text{ m}^2$$

- Caldal afluente

$$Q_a = \frac{0,85 \times 0,5787 \times 4760}{3600} = 1,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Caldal infiltrado

Considerando que uma falha do sistema terá inconvenientes menores, o fator de segurança a aplicar à taxa de infiltração é de 1,5 (Ballard et al., 2007).

$$q = \frac{40}{1,5} = 26,67 \text{ mm/h}$$

$$Q_i = \frac{137,50 \times 0,02667}{3600} = 0,0010 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Volume de armazenamento temporário

$$V_a = (1,61 - 0,0010) \times 30 = 8,04 \text{ m}^3$$

- Altura máxima de água armazenada

#### 1. Taxa de infiltração

$$q = 0,02667 \text{ m/h}$$

#### 2. Porosidade do Material

$$n = 0,30 \text{ de acordo com (CANHOLI, 2014)}$$

#### 3. Área drenada (Ad)

*Dimensões para da trincheira 25x1,50x2,00 m*

$$A_d = 4760 \text{ m}^2$$

#### 4. Área da base (Ab) e o perímetro de infiltração (P)

$$A_b = 1,50 \times 25 = 37,50 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times 2 + 1,50 = 5,50 \text{ m}$$

#### 5. Valor b

$$b = \frac{5,50 \times 0,02667}{37,50 \times 0,3} = 0,13$$

#### 6. Duração da precipitação em horas

$$D_p = 30 \text{ min} = 0,5 \text{ h}$$

## 7. Parâmetro "a"

$$a = \frac{37,50}{5,50} - \frac{4760 \times 0,13}{5,50 \times 0,02667} = -530,60$$

## 8. Altura máxima de água armazenada (hmáx)

$$hmáx = -530,60 \times (e^{(-0,013 \times 0,5)} - 1) = 1,00\text{m}$$

A profundidade da trincheira de infiltração para escoar os dados do projeto será de 1,00m.

## 4.3 Dimensionamentos pavimento permeável

Abaixo seguem os cálculos para dimensionamento do pavimento permeável, para o terreno estudado. Vale ressaltar que a altura do material drenante do pavimento permeável não pode ultrapassar 300 mm segundo a NBR 15527:2007

- Cálculo de  $\beta$

$$\beta = \frac{2000 + 0,43 \times 4760}{2000} = 2,02$$

- Cálculo de  $V_{máx}$

$$V_{máx} = \left( \sqrt{\frac{826,806}{60} \times \sqrt{2,02 \times 20^{\frac{0,143}{2}}}} - \sqrt{\frac{13,326}{60} \times \sqrt{251,72}} \right)^2$$

$$V_{máx} = 112,60 \text{ mm}$$

- Determinação do H

$$H = \frac{112,60}{0,30} =$$

$$H = 285 \text{ mm}$$

Para o dimensionamento do pavimento permeável foi utilizado o balanço hídrico de Araguaína – TO onde determinou-se o volume a ser armazenado para duração e tempo de retorno fixo como a diferença entre o volume de entrada (escoado) e o volume de saída (infiltrado). Para quantificação do volume de entrada, foi utilizado o método racional, com a equação de chuvas intensas proposta pela ACQUAPLAN (Melo *et al*,2006)

- Volume de entrada

$$V_e = 0,90 \times \frac{10^{-3}}{3600} \times 57,87 \times 30 \times 2000 = 23 \text{ l/s}$$

- Volume de saída

$$V_s = 0,040 \times 2000 = 80 \text{ l/s}$$

$$A_{inf} = 56,06 \times 54 = 3026,70 \text{ m}^2$$

Para a determinação das dimensões do dispositivo de infiltração (largura, comprimento e espessura) poderiam ter sido utilizadas técnicas de otimização, porém, a solução adotada foi escolher as dimensões relativas ao comprimento longitudinal e a largura, e calcular qual a espessura da camada de brita associada a um tempo de retorno e a uma duração de precipitação.

Assim, combinando as equações 27 e 28 a espessura da camada de brita (H) pode ser determinada da seguinte forma:

$$H = \frac{0,9 \times 57,87 \times 30 \times \frac{10^{-3}}{3600} - 0,40 \times 3026,70}{56,05 \times 54 \times 0,30} = 0,60 \text{ m}$$

Para o coeficiente de escoamento  $C = 0,85$  chuva com duração de 30 minutos e tempo de retorno 10 anos, resultando em uma intensidade de precipitação 126,37 mm/h, área de drenagem de 4760 m<sup>2</sup>, Infiltração acumulada obtida através do ensaio de infiltração de 40 mm, e porosidade da brita 30%. Obtém-se, que a espessura da camada de brita  $H = 285 \text{ mm}$ .

Além da camada de brita, o pavimento permeável deverá possuir duas camadas de areia, sendo uma camada acima da camada de brita e separada desta por geotêxtil, e outra embaixo da camada de brita separada desta também por um geotêxtil e em contato com o solo.

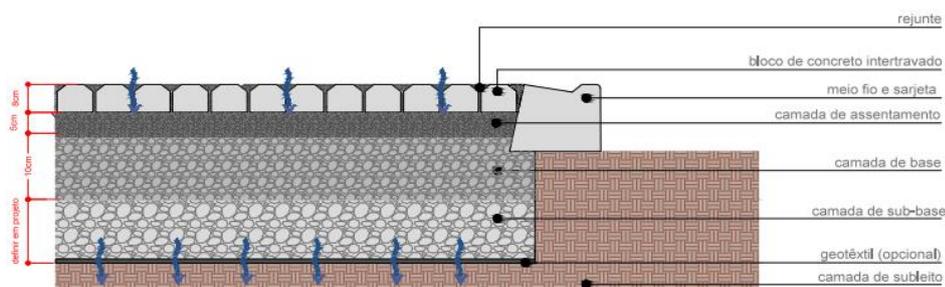
#### 4.4 Processos construtivos e a aplicação dos tipos de drenagem sustentável

Para o projeto de pavimento permeável do estacionamento do fórum foi escolhido os blocos intertravados como revestimento, como critério de dimensionamento foi utilizados a NBR (15956-2011). Para a base e sub-base poderá ser utilizado a brita lavada, onde é necessário que o Índice de Suporte Califórnia (CBR) seja de pelo menos 80%.

Deverá conter também uma camada de assentamento com espessura de 50 mm, onde a mesma serve de superfície uniforme para as peças de concreto pré-moldadas. Para ela deve ser usado agregado graúdo com dimensão máxima de 9,5 mm.

As peças pré-moldadas de concreto terão espessura menor que 4 cm pois as mesmas são apropriadas para tráfego de veículos em estacionamentos pois o mesmo apresentam fluxo leve e são utilizadas no pavimento intertravado permeável.

**Figura 19 – Exemplo de concepção e pavimentos drenantes com a capacidade de acumulação e infiltração de águas de chuva.**



Fonte: Santos, 2017

O subleito pode ser preparado com solo local, figura 20, ou solo de empréstimo, devendo apresentar Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior que 2% e expansão volumétrica menor ou igual a 2%.

**Figura 20 – Preparação do terreno**



**Fonte: (Virgiliis, 2009)**

**Figura 21 – Instalação da rede de drenagem**



**Fonte: (Virgiliis, 2009)**

Logo após é realizado a instalação da rede de drenagem, figura 21, no caso do estacionamento do Fórum será realizado trincheiras de infiltração, para que seja diminuído assim ainda mais o escoamento superficial.

**Figura 22 – Instalação da manta de geossintético**



**Fonte: (Virgiliis, 2009)**

A manta deve ser posicionada logo acima do subleito, figura 22, com sobra nas laterais de 0,3 m a 0,6 m. Também será utilizados a manta de geossintético, nas paredes das trincheiras para que seja desempenhada função de reforço e separação entre o solo natural e os materiais utilizados nas trincheiras.

**Figura 23 – Espalhamento da Brita, e assentamento dos blocos**



**Fonte: (Virgiliis, 2009)**

Serão construídas contenções laterais como guias das calçadas ou apoios provisórios que garantam a estabilidade horizontal do sistema. O agregado para a camada de assentamento deve ser espalhado uniformemente para, após compactação, ter espessura de 50 mm.

Após o estudo é possível nortear as principais vantagens que as drenagens sustentáveis trazem à estrutura, como por exemplo, a mesma apresenta uma diminuição do risco de inundação e contribuição para a melhoria da qualidade da água em meio urbano; a redução na rede de microdrenagem local, uma minimização das intervenções a jusante de novas áreas loteadas quando a rede de drenagem preexistente encontra-se saturada, permitindo a modulação do sistema de drenagem em função do crescimento urbano.

O sistema também apresenta uma melhor integração com o espaço urbano e possibilidade de valorização da água no meio urbano, através de áreas verdes, áreas de lazer, onde também é possível um controle da poluição das águas pluviais, contribuindo assim para a recuperação e preservação do meio ambiente, além de todas as vantagens o sistema apresenta baixos custos de implantação.

Ao analisar a utilização de uma técnica compensatória para a implantação de uma estrutura de drenagem, também é necessário analisar os impactos que a técnica apresenta, as principais desvantagens que drenagens sustentáveis apresentaram no estudo segundo alguns autores foram a preocupação com manutenção frequente, o risco de colmatação, os riscos de poluição do lençol freático; e as restrições de eficiência em áreas de fortes declividades;

#### 4.5 ORÇAMENTO EXPEDITO

Para elaboração de um orçamento é necessário o estudo de custos diretos, indiretos e do BDI. Mas no caso específico deste trabalho, propôs fazer um comparativo entre custos diretos das duas soluções, mesmo sabendo que os impactos dos custos indiretos poderiam trazer diferenças significativas ao orçamento.

**Tabela 6 - Orçamento da Rede de drenagem Convencional**

<b>01.00.000</b>	<b>REDE DE ESGOTO</b>	<b>UN</b>	<b>QUANT.</b>	<b>V. UNIT (R\$)</b>	<b>TOTAL</b>
01.01.001	ESCAVAÇÃO/CARGA DE MATERIAL 1ª CATEGORIA	M3	2.107,17	4,61	9.714,05
01.01.002	REATERRO COMPACTADO	M3	2.000,00	4,31	8.620,00
01.01.003	TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1ª CATEGORIA (20 KM)	M3XKM	2.107,17	0,82	1.727,88
01.01.004	TUBO PVC ESGOTO 100MM INCL. CONEXÕES	M	332,80	35,00	11.648,00
01.01.005	TUBO PVC ESGOTO 125MM INCL. CONEXÕES	M	26,90	40,46	1.088,37
01.01.006	TUBO PVC ESGOTO 150MM INCL. CONEXÕES	M	17,30	56,35	974,86
01.01.007	TUBO PVC ESGOTO 200 MM INCL. CONEXÕES	M	164,15	59,72	9.803,04
01.01.008	TUBO PVC ESGOTO 250 MM INCL. CONEXÕES	M	328,10	59,72	19.594,13
01.01.009	TUBO PVC ESGOTO 300MM INCL. CONEXÕES	M	143,90	59,72	8.593,71
01.01.010	RALO TIPO ABACAXI 100MM	UN	34,00	10,45	355,30
01.01.011	CAIXA DE PASSAGEM EM ALV. 80X80	UN	17,00	267,50	4.547,50
01.01.0012	TUBO PARA DRENAGEM DE JARDIM	M	142,30	16,57	2.357,91
01.01.0013	BOCA DE LOBO DUPLA	UN	19,00	2.230,08	42.371,52
<b>VALOR TOTAL (R\$)</b>					<b>131.794,21</b>

Data base: fevereiro/2017

Tabela 7 - Orçamento da Rede de drenagem com Trincheiras de Infiltração

<b>01.00.000</b>	<b>REDE DE ESGOTO</b>	<b>UN</b>	<b>QUANT.</b>	<b>V. UNIT (R\$)</b>	<b>TOTAL</b>
01.01.001	ESCAVACAO MANUAL DE VALAS EM TERRA COMPACTA, PROF. DE 0 M < H <= 1 M	M3	600,00	15,43	9.258,00
01.01.002	TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1ª CATEGORIA (20 KM)	M3XKM	600,00	0,82	492,00
01.01.003	MANTA GEOTÊXTIL	M2	370,50	7,00	2.593,50
01.01.004	BRITA Nº1/2	M3	142,30	100,00	14.230,00
<b>VALOR TOTAL (R\$)</b>					<b>26.573,64</b>

Data base: fevereiro/2017

A partir da quantificação e elaboração de lista de materiais necessários para as redes de drenagem convencional e sustentável, foi realizado um orçamento. O objetivo desse estudo é a comparação entre o projeto de drenagem convencional e o projeto de drenagem sustentável.

O orçamento foi feito com base nos preços disponibilizados pelo site da SINAPI acessado em abril de 2017 e com custos referentes ao mês de fevereiro deste mesmo ano.

O preço estimado para rede de drenagem convencional foi de R\$ 131.794,21. Já a rede de drenagem sustentável custaria R\$ 26.573,64. Ou seja, a implantação da rede de drenagem sustentável teria um custo bem inferior comparado com a drenagem convencional.

Os quantitativos foram tirados do projeto que foi disponibilizado e que se encontra em anexo.

## 5.0 CONCLUSÃO

Discutiu – se neste trabalho, técnicas de drenagem urbana, convencionais e sustentáveis. Sabe – se que o objetivo primário de drenagem urbana é reduzir escoamentos superficiais.

É possível concluir que a implantação dessas técnicas é de suma importância para o controle de enchentes, por serem obras de baixo impacto para a população em razão da sua forma de incorporação no sistema de drenagem e mostrarem significativos resultados nos aspectos técnicos e financeiros, que garantem a eficiência nas medidas de proteção após a operação dos dispositivos efetivada.

Frente à importância de um desenvolvimento sustentável de ocupação nas cidades, medidas de drenagem compensatória e de baixo impacto sempre devem ser estudadas. Tendo o principal objetivo dos dispositivos de drenagem diminuir o escoamento para jusante, quando se consegue o escoamento de uma vazão menor, e quando necessário do uso em conjunto com galerias, diminui - se o diâmetro das mesmas, o objetivo será alcançado se as estruturas forem corretamente dimensionadas.

O dispositivo utilizado no estacionamento escolhido para estudo (trincheira de infiltração), apresentou-se com um custo bem inferior comparado com a rede de drenagem convencional, devido aos altos valores tubulação. É fato que a diferença de custo pode ser justificada devido a drenagem convencional ser ligada em todos os pontos.

As trincheiras de infiltração além de trabalharem com um risco menor de inundação, ainda causaria muito menos impacto nas redes de jusante da cidade, sendo uma forma mais sustentável de conter os impactos das águas pluviais, além de ser uma forma de recarga do lençol abaixo do terreno ocupado pela cidade. Em virtude do que foi mencionado e com base em alguns autores estudados, conclui-se que o uso de trincheiras de infiltração e pavimento permeável, cumpriu o objetivo de diminuir o escoamento no estacionamento do fórum, sem falar que o sistema se apresentou um baixo custo em comparado com o convencional.

“Nós não podemos resolver problemas com o mesmo pensamento que, em primeira instância, tínhamos quando os criamos” (ALBERT EINSTEIN)

Essa frase, traduz a necessidade da mudança de pensamento quanto às águas pluviais em áreas urbanas. O modelo de drenagem clássico já não é capaz de atender as demandas atuais, torna-se necessária a mudança de modelo ou sua adaptação para cada situação, além da expansão do conceito de gestão de águas pluviais que comporta muito mais do que apenas a drenagem.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. NBR 15953-2011: **Pavimento-intertravado-com-peças-de-concreto**. Brasil, 2011

\_\_\_\_\_. NBR ISSO 10318: **Geossintéticos – Termos e definições**. Brasil, 2013

ANDRADE, R; SANTOS, M. **Análise dos problemas de drenagem urbana nos bairros Vila Operária e Aeroporto**. Teresina/2009. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/view/119>> Acesso em 18 mar. 2017.

AZZOUT, Y., BARRAUD, S., CRES, F. N., ALFAKIH, E.; **Técnicas alternativas de drenagem pluvial**. São Paulo, 2005: Técnica e Documentação Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5843/000521171.pdf>> Acesso em 14 mar. 2017.

Barbosa, Francisco de Assis dos Reis. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio**. João Pessoa, 2006. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss\\_franciscobarbosa.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_franciscobarbosa.pdf)> Acesso em 05 mar. 2017.

BATISTA, M. E. M; Lima, E. R. V e Silva, T.C. **Indicador de performance de sistemas de drenagem Urbana por vias, setores censitários e bairros**. 2005. João Pessoa, PB. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00003D/00003DCB.pdf>> Acesso em 17 mar. 2017.

BRITO, D.S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006, Brasília. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3319/1/2006\\_Debora%20Silva%20de%20Brito.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3319/1/2006_Debora%20Silva%20de%20Brito.pdf)> Acesso em 13 mar. 2017.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARDOSO, NETO. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. 2014. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/>>. Acesso em: 24 ago 2009.

FIDELES, B.T.M *et al.* **Metodologia para Verificação de Filtro - drenantes em Barragens de Aterro com Base na Distribuição de Vazios**, 2014. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/38976952\\_Comportamento\\_filtro-drenante\\_de\\_geotexteis\\_em\\_barragens\\_de\\_rejeitos\\_de\\_mineracao](https://www.researchgate.net/publication/38976952_Comportamento_filtro-drenante_de_geotexteis_em_barragens_de_rejeitos_de_mineracao)> Acesso em 12 out. 2016.

FRAGOSO, C. R., MARQUES, D. M., FERREIRA, T. F. **Modelagem Ecológica de Sistemas Aquáticos**. (2009). Editora: Oficina de Textos.

HAFNER, ANA VRENI. **Conservação e Reuso de Água em Edificações – experiências nacionais e internacionais**. Rio de Janeiro, 2007 . Disponível em: <[http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2007/Teses/HAFNER\\_AV\\_07\\_t\\_M\\_rhs.pdf](http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2007/Teses/HAFNER_AV_07_t_M_rhs.pdf)> Acesso em 13 mar. 2017.

LIMA, M.J. **Utilização de geotêxtil não tecido como elemento constituinte de barreiras capilares**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF: 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/16097>>. Acesso em 12 set. 2016.

PALMEIRA E. M *et al.* e. **“Geossintéticos em Drenagem e Filtração”**. Tradução: Marianna J.A. Mendes, mestrado em Geotécnica pela Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2003. Disponível em <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/7.pdf>>. Acesso em 3 out. 2016.

PHILIPPI Jr. A, **Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, 2005. Disponível em: <<http://www2.unifap.br/cambientais/files/2014/08/A-DRENAGEM-URBANA-DAS-%C3%81GUAS-PLUVIAS-E-SUA-RELA%C3%87%C3%83O-COM-O-MEIO-AMBIENTE-E-A-SA%C3%9ADE-P%C3%9ABLICA-NO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-SANTANA.pdf>> Acesso em 16 mar. 2017.

PIMENTA FILHO, M.A. **Análise da erosão interna de solos em barragens com base na distribuição de vazios**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <[https://www.ufmg.br/pos/geotrans/images/stories/dissertacao\\_marcos.pimenta\\_30-11-13\\_v51\\_publicada.pdf](https://www.ufmg.br/pos/geotrans/images/stories/dissertacao_marcos.pimenta_30-11-13_v51_publicada.pdf)>. Acesso em 6 out. 2016.

PNSB. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. 2013. Disponível em: <[http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969\\_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf](http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf)> Acesso em 15 mar. 2017.

PORTO ALEGRE. PREFEITURA MUNICIPAL DE PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA. **Manual de Drenagem Urbana**. 2005. Disponível em: <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu\\_doc/manual\\_de\\_drenagem\\_ultima\\_versao.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf)> Acesso em 19 mar. 2017.

REMÍGIO, A. F. N. **Estudo da Colmatação Biológica de Sistemas Filtro - Drenantes Sintéticos de Obras de Disposição de Resíduos Domésticos Urbanos sob Condições Anaeróbias**. Distrito Federal, 2006. Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/downloads/teses/038-2006.pdf>>. Acesso em 6 out. 2016>

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Cidade & Geologia: discussão técnica e proposição de projetos de lei de grandes interesses para população urbana**. São Paulo, 2017. Editora Rudder.

SILVEIRA, A. L. L. **Pré-dimensionamento hidrológico de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração**. 2003, Curitiba. Disponível em: < [http://www.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/9/18\\_09\\_15h52\\_andre\\_luiz.pdf](http://www.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/9/18_09_15h52_andre_luiz.pdf)> Acesso em 26 mar. 2017.

SILVEIRA, André Lopes da. **Hidrologia urbana no Brasil. Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle**. Porto Alegre, 2012 Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10004589.pdf>> Acesso em 13 mar. 2017.

SOUSA, R. A. M. **Ferramenta numérica para dimensionamento de filtros geotêxteis**, 2011. Disponível em: < <https://www.coursehero.com/file/p2f2sp/Ferramenta-num%C3%A9rica-para-dimensionamento-de-filtros-geot%C3%AAsxeis-56/>> Acesso em 21 set. 2016.

SOUZA, V. C. **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**. Porto Alegre, 2002 Disponível em: < [http://www.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/9/18\\_09\\_15h52\\_andre\\_luiz.pdf](http://www.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/9/18_09_15h52_andre_luiz.pdf)> Acesso em 126 mar. 2017.

TUCCI, Carlos E. M., PORTO, Rubem L. L., BARROS, Mario T., **Drenagem Urbana**. Editora da Universidade. 1.<sup>a</sup> Edição, Porto Alegre, 2008.

VERTEMATTI, J.C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. Ed. Edgard Blücher. SP, 2015.

Virgiliis, Afonso Luís Corrêa de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheia**. São Paulo, 2009. Disponível em: < [ww.solucoesparacidades.com.br/wp-content/.../10/AF\\_Pav%20Permeavel\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/.../10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf)> Acesso em 20 mar. 2017.

Yamamoto, Daniel. **Drenagem Urbana Sustentável**, São Paulo, 2012 Disponível em: < [www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=6459](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6459)>

## ANEXOS

