



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELIAS MADEIRA SERRA JÚNIOR

**SOLUÇÕES DE ENGENHARIA DE DRENAGEM URBANA COMPENSATÓRIA
PARA A AVENIDA LOURENÇO VIEIRA DA SILVA, SÃO LUÍS - MA**

São Luís
2016

ELIAS MADEIRA SERRA JÚNIOR

**SOLUÇÕES DE ENGENHARIA DE DRENAGEM URBANA COMPENSATÓRIA
PARA A AVENIDA LOURENÇO VIEIRA DA SILVA, SÃO LUÍS - MA**

Monografia apresentada ao Departamento de Hidráulica e Saneamento como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Orientador: Prof. Me. Daniel de Lima Nascimento Sório

São Luís
2016

Serra Júnior, Elias Madeira.

Soluções de engenharia de drenagem urbana compensatória para a Avenida Lourenço Vieira da Silva, São Luís – MA /. Elias Madeira Serra Júnior – São Luís, 2016.

60 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Me. Daniel de Lima Nascimento Sírio.

1. Drenagem sustentável. 2. Drenagem compensatória. 3. Avenida Lourenço Vieira da Silva. I. Título.

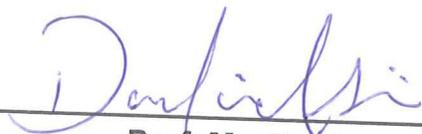
CDU 626.86:502.131.1(812.1)

ELIAS MADEIRA SERRA JÚNIOR
SOLUÇÕES DE ENGENHARIA DE DRENAGEM URBANA COMPENSATÓRIA
PARA A AVENIDA LOURENÇO VIEIRA DA SILVA – SÃO LUÍS, MA

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Civil da Universidade Estadual do
Maranhão para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15/12/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Daniel de Lima Nascimento Sírío
Universidade Estadual do Maranhão



Profª. Esp. Carmen Lúcia Bentes Bastos
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Me. Rogério Frade da Silva Souza
Universidade Estadual do Maranhão

À minha mãe por me oferecer todas as condições para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus que até aqui me susteve e me permitiu dia após dia crescer como filho, cristão, cidadão, marido e pai.

À minha mãe, Conceição, que sempre fez o impossível para me oferecer uma educação de qualidade, por não permitir que eu me desviasse dos caminhos que me tornariam um bom cidadão juntamente com o meu pai, Elias, que por vezes teve que se desfazer de bens materiais para pagar as mensalidades da escola e assim eu ter a chance que eles não tiveram.

Aos meus irmãos Michael, Eline e Ellen com os quais eu sempre tive prazer na companhia, e por ser o caçula recebi muitos ensinamentos de todos eles para o meu bem. Claro que aconteceram ao longo desse longo caminho desavenças, mas nada que pudesse ofuscar o amor genuíno.

Aos meus irmãos de convivência Rogério, Pedro e Gilberto. Realmente não dá pra citar todos, mas esses com certeza não poderiam ficar de fora, amigos de mais de uma década e porto seguro nos momentos em que precisei de um ombro de alguém que realmente me conhecia e por isso os agradeço, pois ajudaram a construir a pessoa que sou hoje.

À Universidade Estadual do Maranhão que com um corpo docente de qualidade continua a formar os melhores engenheiros do nosso Estado.

Ao meu orientador Daniel que por muitas vezes dedicou horas do seu tempo para poder me passar o conteúdo que seria necessário à realização desse trabalho.

À minha esposa Darlene que traz alegria aos meus dias e faz todos eles terem um sentido e me dá um motivo a mais para seguir em frente para fazê-la tão feliz quanto ela merece ser (sei que ainda não consegui, mas persistirei em avançar nesse sentido).

E ao André que hoje tem 9 meses, mas já mudou completamente a minha vida para melhor, ele é o meu filho amado e o seu sorriso é o melhor presente que Deus poderia ter me dado. E como ele sorri, balbucia “*papapa... mamama...*”, pois ele já sabe que isso meche conosco. Ele é o motivo de eu querer ser melhor gradativamente, pois preciso ser um bom exemplo para o meu garotão.

RESUMO

O uso de técnicas compensatórias em drenagem urbana é o foco desse trabalho. Nele temos a problemática da Avenida Lourenço Vieira da Silva, a qual nos períodos chuvosos tende a formar grandes alagamentos em quase toda sua extensão. Visou-se nesse trabalho mostrar qual o viés de técnicas compensatórias mais viáveis para solucionar os problemas de alagamentos que são recorrentes na Avenida Lourenço Vieira da Silva.

ABSTRACT

The use of compensatory techniques in urban drainage is the focus of this work. In it we have the problem of Lourenço Vieira da Silva Avenue, which in the rainy periods tends to form large floods in almost all its extension. The objective of this work was to show the bias of compensatory techniques more feasible to solve the problems of flooding that are recurrent in Lourenço Vieira da Silva Avenue.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Ilha do Maranhão.....	15
Figura 2	Avenida Lourenço Vieira da Silva.....	16
Figura 3	Avenida Lourenço Vieira da Silva, imagem de satélite.....	17
Figura 4	Esquema do ciclo da água.....	19
Figura 5	Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias.....	26
Figura 6	Bacia de retenção na estiagem.....	29
Figura 7	Bacia de retenção na cheia.....	30
Figura 8	Representação de pavimento em concreto permeável.....	31
Figura 9	Exemplo de pavimento poroso.....	32
Figura 10	Pavimento permeável com preenchimento em grama.....	33
Figura 11	Esquema de poço de infiltração.....	34
Figura 12	Representação de um poço de infiltração.....	34
Figura 13	Planta esquemática com poço de infiltração.....	36
Figura 14	Esquema de telhado verde.....	37
Figura 15	Exemplo de telhado verde.....	38
Figura 16	Esquema de trincheira de infiltração.....	39
Figura 17	Exemplo de trincheira de infiltração.....	40
Figura 18	Exemplo de valeta.....	41
Figura 19	Esquema de valeta de infiltração -a)vista em planta e b)vista em corte.....	42
Figura 20	<i>Data Loggers</i>	43
Figura 21	Ensaio de infiltrômetro de duplo anéis concêntricos.....	44
Figura 22	Cravação dos cilindros.....	44
Figura 23	Repetição do ensaio de infiltrômetro de duplo anéis concêntricos.....	45
Figura 24	Zoneamento das águas subterrâneas da Ilha do Maranhão.....	47
Gráfico 1	Resultados.....	48
Figura 25	Estacionamento 1 (aproximadamente 175m ²).....	49
Figura 26	Estacionamento 2 (aproximadamente 3000m ²).....	50
Figura 27	Estacionamento 3 (aproximadamente 200m ²).....	50
Figura 28	Estacionamento 4 (aproximadamente 500m ²).....	50

Figura 29	Estacionamento 5 (aproximadamente 225m ²).....	51
Figura 30	Estacionamento 6 (aproximadamente 300m ²).....	51
Figura 31	Estacionamento 7 (aproximadamente 200m ²).....	51
Figura 32	Estacionamento 8 (aproximadamente 90m ²).....	52
Figura 33	Estacionamento 9 (aproximadamente 375m ²).....	52
Figura 34	Estacionamento 10 (aproximadamente 196m ²).....	52
Figura 35	Estacionamento 11 (aproximadamente 98m ²).....	53
Figura 36	Estacionamento 12 (aproximadamente 98m ²).....	53
Figura 37	Estacionamento 13 (aproximadamente 98m ²).....	53
Figura 38	Estacionamento 14 (aproximadamente 150m ²).....	54
Figura 39	Alagamento da Avenida Lourenço Vieira da Silva, 2 de Abril de 2016.....	55
Figura 40	Alagamento da Avenida Lourenço Vieira da Silva, 5 de Maio de 2016.....	55
Figura 41	Alagamento da Avenida Lourenço Vieira da Silva, 5 de Maio de 2016.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Medidas estruturais de controle de cheias	27
Quadro 2	Elenco de Medidas para a Gestão de Drenagem Urbana (adaptado de Righeto, 2009 e DAEE, 2010).....	28
Quadro 3	Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas.....	45
Quadro 4	Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos (Musy & Soutter, 1991) - Adaptada.....	49
Quadro 5	Técnicas para controle viário: Implantadas junto aos sistemas de infraestrutura viária existentes. Adaptada.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA	15
3	OBJETIVOS	18
3.1	Objetivo Geral	18
3.2	Objetivos Específicos	18
4	REVISÃO TEÓRICA	19
4.1	Hidrologia: Definições Gerais	19
4.2	Elementos de Hidrologia	20
4.2.1	Evapotranspiração.....	21
4.2.2	Interceptação.....	21
4.2.3	Escoamentos das águas pluviais.....	21
4.2.4	Tempo de Retorno.....	22
4.2.5	Tempo de Concentração.....	22
4.2.6	Duração da Precipitação.....	22
4.2.7	Intensidade.....	22
4.3	Drenagem	23
4.4	Técnicas Compensatórias em drenagem urbana	24
4.4.1	Generalidades.....	24
4.4.2	Medidas estruturais e não estruturais.....	27
4.4.3	Bacias de detenção.....	29
4.4.4	Pavimento permeável.....	31
4.4.5	Poços.....	34
4.4.6	Telhados armazenadores.....	36
4.4.7	Trincheiras.....	39
4.4.8	Valas e valetas.....	40
5	METODOLOGIA	42
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
7	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Botelho (1998) explica que antes do processo de urbanização ou as atividades de agricultura e pecuária alcançarem uma determinada área, essa se encontra no seu estado natural, moldada pelas ações eólica, pluvial e possivelmente sulcada por rios. As seções dos cursos de água geraram uma situação de harmonia adquirida ao longo de milênios. Não são frequentes extensas faixas impermeáveis no meio natural e, por conta disso, as águas têm suas opções de escoamento preservadas e escoam em rios ou no subsolo em direção ao mar, onde completam o ciclo hidrológico.

No entanto, quando o processo de urbanização ocorre sem se adequar às características geológicas e topográficas do local, adicionadas à retirada de vegetação nativa, matas ciliares, abertura e pavimentação de ruas, acarreta em um problema clássico de falta de escoamento das águas pluviais (BOTELHO, 1998).

Historicamente, de acordo com Fernandes (2002), o princípio da drenagem urbana coincide com o princípio da civilização. Inicialmente voltado para as técnicas de irrigação, mas logo a preocupação com as águas pluviais veio à tona, como no caso dos sumérios que dominavam sofisticadas técnicas de irrigação, porém por não possuírem calçamento em suas ruas, na ocorrência das chuvas, verdadeiros atoleiros se formavam na cidade. Já entre 2100 - 1700a.C. descobriu-se que nas ruínas da cidade de Kahum, no Egito, foi planejado para as águas pluviais que escoassem por uma calha de mármore implantada no centro da rua. O povo de Harappa, antiga cidade indiana, em aproximadamente 2000a.C. possuía um sistema de esgoto forrado por tijolos com aberturas em espaçamentos regulares para manutenção (FERNANDES, 2002). Por conta do crescimento urbano, na Idade Antiga, romanos, gregos e mesopotâmicos realizaram as primeiras obras de escoamento das águas cloacais e de chuva, dentre tais obras destaca-se a “*cloaca máxima*”, que ainda funciona em Roma, de acordo com Burtles e Davies (2011 *apud* HENRIQUES, 2014).

A drenagem é a ciência que objetiva impedir excessos de águas superficiais e profundas no intuito de preservar todo o espaço urbano por intermédio de um sistema de dispositivos de drenagem bem integrados (JABÔR, 2015). E para um sistema de drenagem ser considerado eficiente, esse deve escoar um dado volume de água num dado tempo; utilizar materiais de reconhecida confiabilidade e fácil manutenção; possuir uma grande vida útil e

conferir segurança à obra além de advir de um eficiente arcabouço teórico (VERTEMATTI e AGUIAR, 1977).

De acordo com Baptista *et al* (2005), no modelo clássico de drenagem urbana, é recomendado o escoamento rápido das águas de chuva e águas servidas do meio urbano de preferência de modo maquiado. Dessa forma, não há contato dessas águas danosas à saúde com a comunidade que compõe o tecido urbano e o acúmulo na superfície das ruas é evitado.

A drenagem compensatória urbana, que possui como uma de suas bases de estudo a bacia hidrográfica, surgiu inicialmente na Europa a partir do ano de 1970 (BAPTISTA *et al*, 2005). Em oposição à visão clássica de drenagem, essa técnica utiliza: a) o controle da água oriunda do escoamento superficial das áreas impermeabilizadas; b) a redução da velocidade com que a água é transportada à jusante, desse modo facilita a infiltração; c) o controle de vazão efluente à jusante do sistema onde a água se concentrará; e d) a criação de bacias de retenção que aliadas a outras estruturas de baixo impacto, podem funcionar como área de retorno ou estruturas suplementares de drenagem (BAPTISTA *et al*, 2005). Essa técnica alternativa de drenagem torna sustentável o desenvolvimento do meio urbano na medida em que a sua aplicação reduz significativamente a possibilidade de problemas como enchentes e inundações ribeirinhas (BAPTISTA *et al*, 2005).

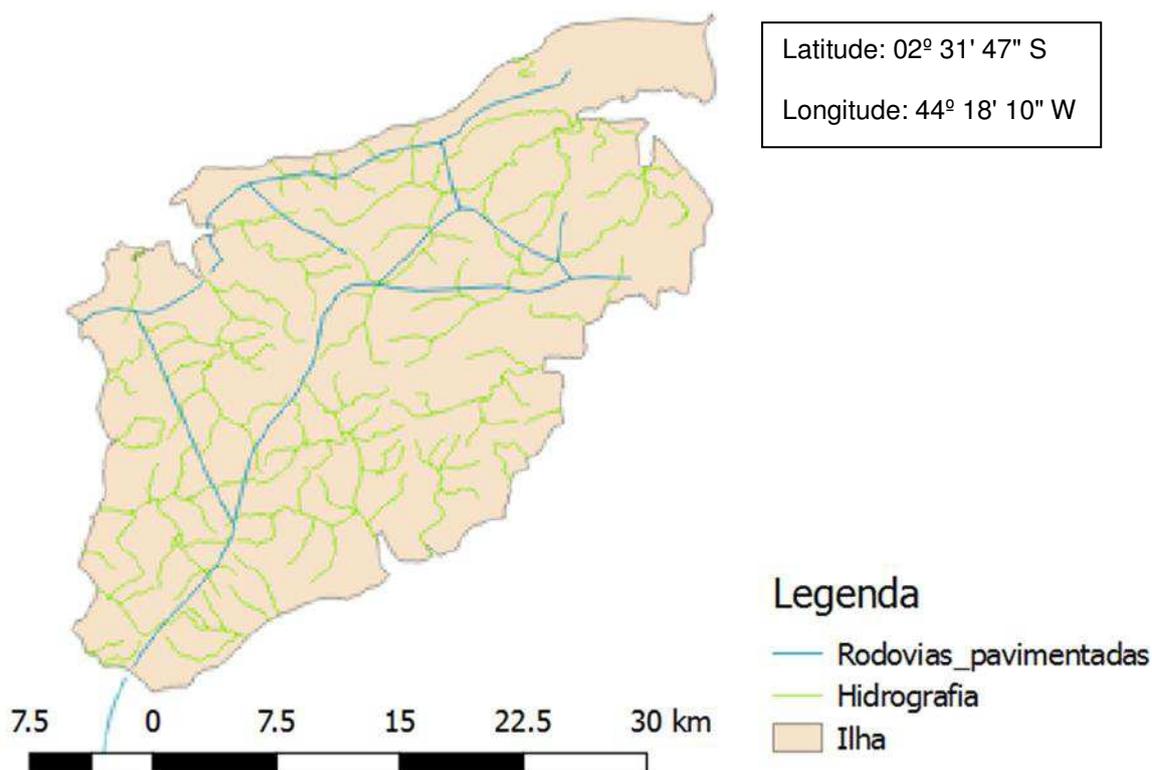
É inegável que no Brasil grande parcela das cidades de maior porte enfrenta problemas de drenagem das águas pluviais decorrentes de projetos mal elaborados ou mal executados e com custos incompatíveis aos custos da obra (FUGITA, 1979). Dessa forma, é perceptível que a questão da drenagem no Brasil está em segundo plano, pois com o inchaço populacional dos grandes centros urbanos e as demandas decorrentes da urbanização como o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a limpeza pública, um sistema de dispositivos de drenagem ineficiente pode levar de um estado de insalubridade calamitoso até riscos de tragédias no trânsito causados pela aquaplanagem dos carros.

Em São Luís do Maranhão, cidade cercada por mar e rios, é visível que muitas avenidas de grande porte possuem seu sistema de drenagem defasado o que contribui para diversos transtornos. Dessa forma, esse trabalho visa estudar na Avenida Lourenço Vieira da Silva, localizada no bairro Tirirical, o uso de técnicas compensatórias de drenagem urbana como solução para o problema de drenagem urbana.

2 JUSTIFICATIVA

Assim como na maioria dos grandes centros urbanos do Brasil, São Luís - MA também cresceu de forma desordenada e rápida. Visivelmente houve pouca preocupação com a drenagem das principais vias, as quais no início do período chuvoso tendem a perder eficiência hidráulica e os motivos disso decorrem de projetos que tratam de maneira subestimada a drenagem das avenidas o que provoca um grande escoamento superficial e como consequência as avenidas retêm uma quantidade considerável de água. Essa água retida gera transtornos de saúde, pois contribuem para a proliferação de vetores e doenças. Gera riscos para os moradores, condutores e pedestres pelo perigo que a água represada ou ondas de cheias representam quando ocorrem no local: ocasionam rompimento de taludes, dentre outros problemas. Na Figura 1, abaixo localiza-se a Ilha de São Luís, que fica 2° ao sul do Equador, nas coordenadas geográficas latitude S 2°31' longitude W 44°18', acima do nível do mar 24m, área total de 831,7km², a grande ilha do Maranhão é composta pelos municípios da Raposa, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e São Luís.

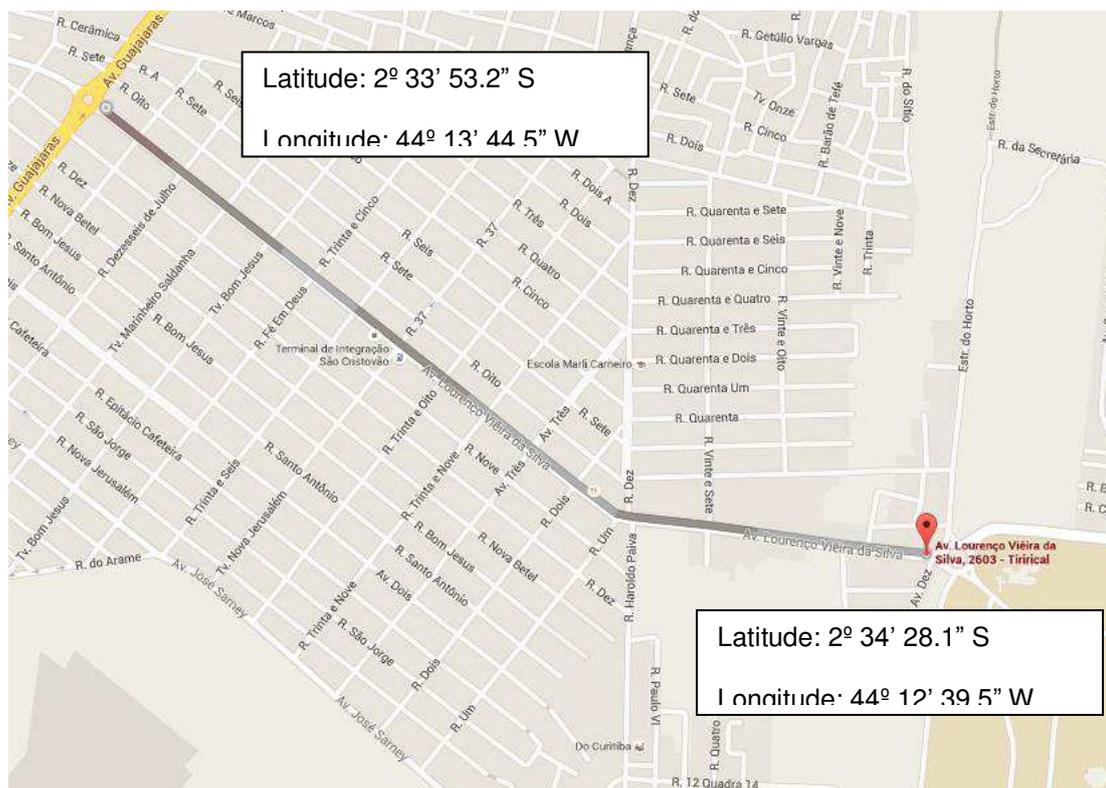
Figura 1 – Ilha do Maranhão



Fonte: Autor

O presente trabalho trata de uma importante avenida de São Luís do Maranhão, a Avenida Lourenço Vieira da Silva, que interliga importantes bairros como Tirirical, São Bernardo, Jardim Alvorada, Cidade Olímpica, Santa Clara, Jardim América, Geniparana, Vila Jardim Lima, Vila Cafeteira e todo o complexo da Cidade Operária. Além de conduzir grande parcela dos universitários, funcionários e estudantes à Universidade Estadual do Maranhão, como está apresentado em destaque nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Avenida Lourenço Vieira da Silva



Fonte: GOOGLE MAPS. **Avenida Lourenço Vieira da Silva.** Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 3 - Avenida Lourenço Vieira da Silva, imagem de satélite.



Fonte: GOOGLE MAPS. **Avenida Lourenço Vieira da Silva.** Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso -em: 11 set.2016.

Como consequências desse estudo haveria benefícios ao órgão público responsável pela manutenção dessa via, pois muitos defeitos no pavimento são causados pela ausência de um sistema eficiente de dispositivos de drenagem urbana; aos proprietários de veículos que lá trafegam, pois diminuiria os gastos com manutenção de seus automóveis; aos moradores da região que sofreriam menos com as doenças e eventuais transtornos causados por essas águas e estímulo à comunidade acadêmica para a realização de projetos dessa nova plataforma de drenagem para apontar um caminho mais coerente no tratamento e destinação final das águas pluviais na cidade de São Luís.

A técnica compensatória de drenagem urbana é o caminho escolhido para o desenvolvimento desse trabalho, por considerar que essa técnica pode aliviar a carga do já existente sistema de drenagem da região em estudo, além de possibilitar o desenvolvimento urbano sem onerar exageradamente.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

Apontar soluções técnicas compensatórias de drenagem em um trecho da Avenida Lourenço Vieira da Silva por intermédio do levantamento bibliográfico, da observação e estudo preliminar – de infiltração de água no solo.

3.2 Objetivos Específicos

- Adquirir valores de permeabilidade do solo;
- Levantamento de registros de proximidade do lençol freático;
- Incentivar a comunidade acadêmica a aprofundar-se no tema.

4 REVISÃO TEÓRICA

4.1 Hidrologia: definições gerais

Segundo Chow (1959 *apud* TUCCI 2001), a hidrologia é a ciência que versa sobre a água no globo terrestre, seu curso e subdivisão, sua situação, suas características físicas e químicas, e seu comportamento no meio ambiente, inclusa suas relações com os seres vivos. Para Pinto, *et al* (1976), hidrologia é a ciência que aborda a análise da água na Natureza, integra a Geografia Física e engloba propriedades, fenômenos e a disseminação da água na atmosfera, na face da Terra e no subsolo.

O ciclo hidrológico, mostrado na Figura 4, é a atividade constante da água existente nos oceanos, continentes e na atmosfera. A força da gravidade alimenta essa atividade e pela ação do Sol, que provoca a evaporação das águas dos oceanos e continentes (BRASIL, 2010).

Figura 4: Esquema do ciclo da água



Fonte: INFOESCOLA. **Ciclo Hidrológico.** Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/ciclo-hidrologico-ciclo-da-agua/>>. Acesso em: 15 set.2016.

Ainda conforme o Ministério do Meio Ambiente (2010), no continente as águas de chuva podem seguir caminhos distintos:

- 1) Infiltrar e percolar;
- 2) Fluir aos poucos entre as partículas e vazios dos solos e das rochas, e ficar armazenada por um intervalo de tempo muito volúvel e que pode produzir aquíferos;
- 3) Evaporar e retornar à atmosfera;
- 4) Congelar.

Conforme Jabôr (2015), aos engenheiros projetistas de Drenagem Urbana interessam duas fases do ciclo hidrológico: a precipitação e o escoamento. Na Engenharia Hidráulica o ciclo hidrológico é composto por quatro etapas: a) precipitação atmosférica: chuva, granizo, neve, orvalho; b) escoamentos subterrâneos: infiltração, águas subterrâneas; c) escoamentos superficiais: córregos, rios e lagos; d) evaporação: na superfície das águas e no solo transpiração.

Continua Jabôr (2015), que o ciclo hidrológico apesar de parecer uma engrenagem de comportamento contínuo e previsível, na realidade é muito diferente disso, pois o volume de água em cada uma das etapas do ciclo aparece de modo bastante aleatório e varia no espaço e no tempo. São extremos como enchentes e secas que mais importam aos engenheiros, visto que muitos projetos de engenharia hidráulica são executados com o propósito de proteger o tecido urbano dessas situações antagônicas (CARVALHO *et al*, 2007). Projetos que definem a seção da vazão em pontes; em bueiros; em galerias; nos dimensionamentos de condutos e dos sistemas de recalque, de projetos de construção de barragens e de dimensionamento de extravasores estão entre os projetos que competem à engenharia hidráulica e que têm grande importância na sociedade (JABÔR, 2015).

4.2 Elementos de Hidrologia

É necessário distinguir os parâmetros de medidas das precipitações para dessa forma entendermos as vazões pluviais.

4.2.1 Evapotranspiração

Como o nome já nos intui a inferir é o conjunto de processos físico e fisiológico: evaporação e transpiração respectivamente, encarregadas pela transformação da água precipitada na atmosfera terrestre em vapor (TUCCI, 2001).

4.2.2 Interceptação

Parcela das águas pluviais que é interceptada pela vegetalidade e outras obstruções, de onde se evapora posteriormente (PINTO *et al*, 1976). Esse processo é sujeito às características das condições climáticas, da densidade da vegetação, da idiosincrasia fisiológica da vegetalidade durante o ano e das chuvas (TUCCI, 2001).

4.2.3 Escoamentos das águas pluviais

O escoamento superficial é aquele que ocorre durante a precipitação e após a ação da interceptação e retenção de águas pelos obstáculos e ou vegetação, também decorrente da condutividade hidráulica saturada do solo e acúmulo da água nas depressões da terra na área (TUCCI, 1995). Já o escoamento sub-superficial acontece nas camadas superiores do solo e dificilmente conseguimos distinguir do escoamento superficial (COLISCHON e DORNELES, 2014). Por último temos o escoamento subterrâneo que é proveniente do acúmulo de água em aquífero e possui relevância considerável, pois abastece os cursos d'água nos períodos de estiagem (MIRANDA *et al*, 2010).

A impermeabilização do solo é um fator danoso à drenagem urbana, pois ocasiona associadamente também a outros fatores, como subdimensionamento de elementos de drenagem e perda da capacidade desses dispositivos, mazelas como enchentes e inundações ribeirinhas ocorrem. Com a impermeabilização do solo o escoamento superficial aumenta, pois já não ocorrerá infiltração de parte dessa água, e a deficiência da drenagem das águas pluviais gera transtornos em vários níveis da sociedade.

4.2.4 Tempo de Retorno

Para Jabôr (2015), calculado pelo inverso da probabilidade de um evento ocorrer ou ser superado é o intervalo médio de tempo em anos que um evento qualquer pode também, ser igualado ou superado, e normalmente é expresso em anos.

4.2.5 Tempo de Concentração

Tempo de concentração, como medida hidrológica fixa, pode ser determinado como tempo essencial para uma gota de água fluir superficialmente da posição mais afastada – em percurso hidráulico – da bacia até o seu exutório (PINTO *et al*, 1976).

4.2.6 Duração da Precipitação

Facilmente podemos definir como o intervalo de tempo entre a primeira gota da chuva que cai até a última. Esse intervalo pode ser medido em minutos, horas ou dias (pouco comum), conforme o destino de uso (BOTELHO, 2011). Com as informações de intensidade e duração conseguimos estimar o volume de água que cai numa determinada bacia (BOTELHO, 2011).

4.2.7 Intensidade

Segundo Collischonn e Dorneles (2014), a intensidade é a grandeza que mede a quantidade de chuva que cai num espaço em determinado tempo e é medida em volume, sua área é fixada convencionalmente em 1m². De acordo com os Autores dependendo do que se deseja calcular, a chuva é mensurada em minutos de ocorrência, em horas de ocorrência, em dias de ocorrência ou até em anos de ocorrência, pois há casos que interessa conhecer a chuva que ocorre em

10min, e em outros casos, aquela de interesse pode ser a chuva que ocorre em um dia.

4.3 Drenagem

Jabôr (2015) define a drenagem como a ciência que tem a finalidade, por meio de um sistema de drenagem integralizado e competente, evitar e/ou coibir as águas superficiais e profundas em demasia, com o intuito de proteger e favorecer tudo que sobre elas possam fluir.

Vertematti (*et al* 1977) faz separação entre a drenagem superficial como aquela que trata da captação e escoamento das águas que ficam na superfície, não interessa o modo de condução, seja ele superficial ou subterrâneo; e a drenagem profunda como a que trata da captação e escoamento das águas que ficam no subsolo.

A função principal da drenagem numa via é afastar as águas que, de qualquer maneira, alcance da calha viária, ao recolher e conduzir para lugares onde o pavimento não seja afetado, de forma a garantir a durabilidade e a segurança da via (DNIT, 2006).

Tradicionalmente, já difundida no Brasil, a abordagem sobre o sistema de drenagem urbana é a busca de um eficiente sistema hidráulico que leve o problema à jusante, pois as danosas águas urbanas devem passar por obras de retificação, canalização e recobrimento para conduzir a água aos pontos mais distantes possíveis (SOUZA, 2013), essa visão de drenagem contrasta com a ideia de uma drenagem sustentável, pois a drenagem urbana tradicional não prevê problemas de inundações à jusante de suas intervenções.

No entanto a nova maneira de encarar a problemática da drenagem tem por objetivo imitar o ciclo hidrológico natural, com medidas estruturais e não estruturais que envolvem ações de gerenciamento e mudanças de hábito (PARKINSON *et al*, 2003). Tendo como alguns princípios que: novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão de pico das condições naturais – controle da vazão de saída; planejar o conjunto da bacia para controle do volume; evitar a transferências de impactos à jusante (PARKINSON *et al*, 2003).

4.4 Técnicas Compensatórias em drenagem urbana

4.4.1 Generalidades

Na contramão da visão clássica de drenagem urbana, a drenagem compensatória, a partir do início da década de 1970, foi a aposta dos países desenvolvidos que desejavam resultados melhores do que os já alcançados em drenagem urbana convencional e porque era visível que ampliar a capacidade de escoamento das redes existentes seria muito oneroso e em condições extremas existiria a possibilidade do problema não ser solucionado na sua totalidade e nem a longo prazo (TUCCI, 2005).

Essa iniciativa foi resultado do questionamento a respeito das obras que designadas a afastar de forma ágil as águas que se acumulavam em áreas de interesse e transfere o imbróglio para outras áreas (à jusante) ou para um futuro (TUCCI, 2005).

Por consequência, os países ricos a partir de 1970, abandonaram o conceito de que escoar a água precipitada o mais rápido possível seria a melhor solução (TUCCI, 2005).

O objetivo principal da drenagem sustentável é imitar o que é natural, porque o meio ambiente se mostra autossustentável para as localidades que não experimentam a ação antrópica, e a partir desse princípio busca-se assemelhar-se ao ciclo hidrológico ao associar técnicas com o propósito de diminuir as vazões de pico, suavizar o acúmulo de poluentes das águas pluviais em áreas urbanas, conter processos erosivos e a perda de capacidade dos aquíferos (DIAS e ANTUNES, 2011).

Portanto, o desenvolvimento de uma paisagem hidrológica funcional que se assemelhe a natureza pode ser alcançada por meio de (PRINCE *apud* SOUZA, 1999):

- a) Diminuição de impactos por águas de chuva, minimização de áreas impermeáveis, manutenção de recursos e ecossistemas naturais, preservação dos cursos de drenagem, minoração de encanamentos e diminuição de movimentos de terra, ainda na concepção do planejamento;
- b) Manter o tempo de concentração inicial, por estrategicamente propagar fluxos e a conservação do tempo de deslocamento e o controle de descarga;

- c) Prover medidas de armazenamento uniformemente disseminado, pelo uso de técnicas que acumulem o escoamento, para assim mitigar ou restaurar disfunções inevitáveis ao ciclo hidrológico;
- d) Incentivar programas de educação pública para a manutenção da paisagem hidrológica funcional do lote e de adoção de medidas para evitar a poluição das águas pluviais.

Para Tucci (2005), os princípios para uma drenagem compensatória são os seguintes:

- a) Novos empreendimentos não poderão aumentar a vazão de pico das condições prévias – controle de vazão de saída;
- b) Estudar o conjunto da bacia para gerência do volume;
- c) Evitar o deslocamento de impactos à jusante.

A drenagem sustentável tem como intuito o controle do escoamento superficial o mais próximo possível da área onde a chuva atinge o solo, isto é, busca-se um controle de escoamento na fonte (DIAS e ANTUNES, 2010). Atenua-se o escoamento pela infiltração do excedente de água no subsolo, pela evaporação e evapotranspiração e pela acumulação temporária que possibilita o reuso ou uma liberação lenta, depois da precipitação (DIAS e ANTUNES, 2010).

Para Dias e Antunes (2010), o objeto de maior planejamento deve ser a planície de inundação, com foco na garantia da área de seção de escoamento e na diminuição das perdas de carga hidráulica ao restringir a ocupação e o tipo de obra permitido nessa área.

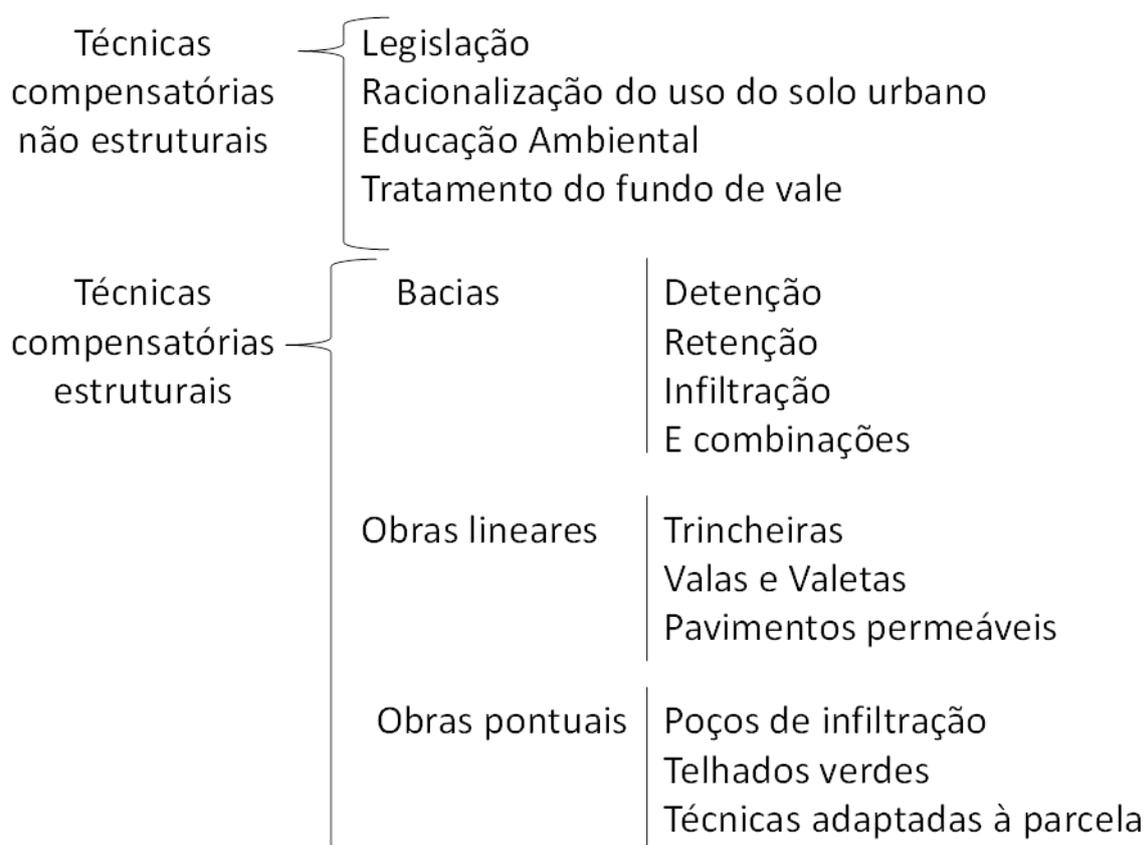
Outro aspecto a ser explorado, é o fato de que a irracionalidade dos projetos de drenagem urbana clássica leva a custos insustentáveis, e pode alcançar a ordem de ser dez vezes maiores do que os custos para amortecer o pico dos hidrogramas e reduzir a vazão máxima para jusante por meio de uma detenção (TUCCI, 2005). Desta forma, os países ricos perceberam o quanto eram onerosos as canalizações, os condutos e deixaram esse tipo de solução, enquanto que os países mais pobres adotam metodicamente essas medidas que acarretam em custos mais elevados (TUCCI, 2005).

Esse modelo de drenagem abrange medidas estruturais e medidas não estruturais para a sua concepção e englobam técnicas inovadoras de engenharia como a execução de estacionamentos permeáveis, telhados verdes, pavimentos porosos e de canais abertos com vegetação no intuito de diminuir as vazões de pico e minorar a concentração de poluentes das águas pluviais nas zonas urbanas.

Uma técnica inovadora, que é apropriada para o Brasil, é a armazenagem das águas pluviais em tanques de acumulação para reuso na irrigação de áreas verdes (DIAS e ANTUNES, 2010).

Na Figura 5 esquematizam-se as técnicas compensatórias e seus desdobramentos, onde as técnicas compensatórias não-estruturais trabalha-se o favorecimento da desaceleração dos escoamentos; já as técnicas compensatórias estruturais são as que visam potencializar a infiltração, retenção e detenção das águas (BAPTISTA, 2005).

Figura 5 - Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias



Fonte: BAPTISTA, et al, 2005, p. 42.

4.4.2 Medidas estruturais e não estruturais

Segundo Tucci (2005), os métodos estruturais abrangem as execuções de obras para atenuar os efeitos das enchentes e se dividem em extensivas e intensivas, no Quadro1 vê-se as principais diferenças.

Quadro 1 – Medidas estruturais de controle de cheias

MEDIDA	PRINCIPAL VANTAGEM	PRINCIPAL DESVANTAGEM	APLICAÇÃO
MEDIDAS EXTENSIVAS			
Cobertura Vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda	Redução do assoreamento	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
MEDIDAS INTENSIVAS			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso ocorram falhas	Grandes rios
<i>Melhoria do canal</i>			
Redução da rugosidade por obstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Ampliação da área protegida e aceleração do escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatórios</i>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Locação difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficientes com mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatório para cheias	Operação com o mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de Canal</i>			
Caminho das cheias	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes Bacias
Desvios	Redução da vazão do canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e grandes

Fonte: DIAS e ANTUNES, 2010, 24p.

As medidas extensivas intervêm na bacia e alteram as correlações entre vazão e precipitação, com diminuição e retardamento de picos de enchente e, sobretudo, na contenção da erosão da bacia por funcionar, principalmente, no controle de frequentes inundações (DIAS e ANTUNES, 2010). Já as medidas intensivas têm foco no rio e se subdividem em quatro tipos: ações que aceleram o escoamento; ações que amortecem e desaceleram o escoamento; ações de desvio do escoamento e ações que abrangem a introdução de medidas individuais com objetivo de fazer as edificações resistentes às enchentes (DIAS e ANTUNES, 2010).

De outro ponto de vista, as ações não estruturais são aquelas que visam mudança de conduta e que reduzem consideravelmente as mazelas que acompanham as inundações em nosso meio urbano (DIAS e ANTUNES, 2010). Pela inserção de normas, estatutos e até mesmo programas com o objetivo de conscientizar a população para a conservação dos sistemas de drenagem (DIAS;

ANTUNES, 2011). Tucci (2005) complementa que a mais importante ação não estrutural é a legislação para controlar os futuros empreendimentos.

O Quadro 2 enumera de forma sucinta as medidas estruturais e não estruturais.

Quadro 2 – Elenco de Medidas para a Gestão de Drenagem Urbana (adaptado de Righeto, 2009 e DAEE, 2010).

MEDIDAS ESTRUTURAIS	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS
Ampliação, modificação, retificação, revestimento, canalização dos cursos d'água naturais ou execução de galerias	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para espaços abertos, margens e entorno de lagos e rios
Armazenamento ou desvio das águas a montante da região sujeita a inundações	Controle do uso do solo fora da área de inundação
Diques, muros e floodwalls	Securitização da área de risco de inundação
Alterações em pontes e travessias	Estruturas a prova de inundação e restrições de aproveitamentos
Bacias de retenção, detenção e amortecimento	Sistema de previsão, antecipação e alerta
Bacias de sedimentação, retenção de detritos e lixo	Tratamento das populações em encostas e áreas baixas
Wetlands e áreas de depuração in situ	Programa de manutenção e inspeção do sistema de drenagem
Parques lineares	Programa de ação emergencial
Repermeabilização e permeabilização artificial do solo	Manual de drenagem e de gestão de drenagem
Relocação e demolição de estruturas	Educação ambiental
Detenção em lotes, quadras, empreendimentos, jardins de chuva, telhado verde...	Institucionalização da drenagem urbana como serviço do Estado

Fonte: MARTINS, 2012, p. 5.

Algumas dessas medidas estruturais são detalhadas por Baptista (*et al*, 2005) que enumera diversas técnicas compensatórias em drenagem urbana apresentadas a seguir.

4.4.3 Bacias de detenção

São estruturas designadas ao acúmulo temporário e/ou de infiltração das águas de chuvas, como mostrado na Figura 6 e na Figura 7, que fundamentalmente devem promover o amortecimento de cheias geradas no meio urbano para o controle de inundações, reduzir o escoamento superficial e reduzir também a poluição difusa originada da chuva no meio urbano (MOTA, 2012).

Figura 6 – Bacia de detenção na estiagem



Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADE. **Bacia de detenção na estiagem**. Disponível em:<<http://solucoesparacidades.com.br>>. Acesso em: 15 set.2016.

No tocante ao funcionamento as bacias de detenção podem ser de retenção, quando tem por finalidade única a estocagem das águas pluviais, o que possibilita o rearranjo das vazões, de infiltração, quando tem por objetivo a total infiltração das águas pluviais o que significa escoamento zero à jusante; por último a de retenção e infiltração, essa infiltra parcela das águas pluviais, o que reduz o escoamento à jusante e possibilita o rearranjo das vazões (BAPTISTA *et al*, 2005).

Os reservatórios de detenção podem ser diferenciados quanto à forma, onde podem ser:

- a) Subterrâneos ou cobertos, quando na localidade urbana destinada a recebê-lo possui alta densidade demográfica, o que impossibilita a implantação dos reservatórios à céu aberto, por falta de grandes áreas livres (BAPTISTA *et al*, 2005). Na cobertura desse reservatório podem ser desenvolvidas formas de utilização da área (BAPTISTA *et al*, 2005);
- b) À céu aberto, destinados a acumular água somente nos períodos chuvosos, são reservatórios secos que podem ter seu interior impermeabilizado, quando houver a possibilidade de contaminação do lençol freático (BAPTISTA *et al*, 2005). Esse espaço pode facilmente ser utilizado como área de lazer e para a prática de esportes (no período de estiagem) (BAPTISTA *et al*, 2005).

Figura 7 – Bacia de retenção na cheia



Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADE. **Bacia de retenção na cheia**. Disponível em: <<http://solucoesparacidades.com.br>>. Acesso em: 15 set.2016.

Outra classificação seria quanto à configuração da bacia em relação ao curso da água, dessa forma pode ser em série, quando é implantada sobre ou ao longo do curso d'água, esse tipo é mais comumente executado em localidades com disponibilidade de áreas para a sua implantação, mais comum em áreas não urbanizadas; pode também ser em paralelo, quando é implantado paralelamente ao curso d'água, esse tipo pode armazenar grandes volumes de água, pois pode ser mais profundo que o leito do córrego (BAPTISTA *et al*, 2005).

A bacia de retenção promove o armazenamento por curtos períodos de tempo, com o objetivo de controlar as inundações e de reter a água, e por longos períodos de tempo para reduzir as cargas de poluição difusa e recarga do lençol freático (BAPTISTA *et al*, 2005).

Essa técnica tem como vantagens: a criação de áreas verdes, efeito paisagístico; a possibilidade do uso das águas retidas para irrigação de áreas verdes reserva para incêndio; a possibilidade de recarga dos aquíferos (BRITO, 2006). E como desvantagens aos moradores o risco aos que residem às margens da bacia; a ocupação de áreas que vão de médias às grandes; o risco de contaminação das águas subterrâneas; o risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas pelos mesmos (BRITO, 2006).

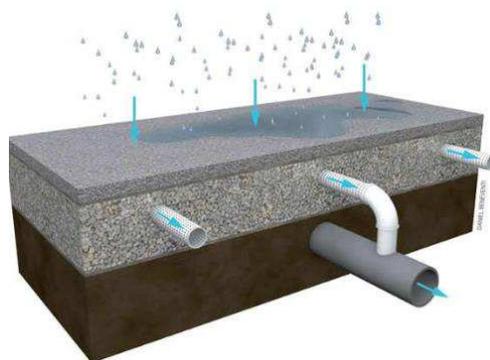
4.4.4 Pavimento permeável

O pavimento permeável não difere nas funções urbanas do pavimento convencional, porém somente o pavimento permeável tem a característica de

diminuir o escoamento superficial proveniente das chuvas (DIAS e ANTUNES, 2011).

Esse dispositivo compensatório tem a função de reduzir a o escoamento superficial por meio da permeabilidade do seu revestimento (absorvendo parte ou a totalidade da água). Os revestimentos mais utilizados no Brasil impermeabilizam o solo, o que eleva o escoamento superficial (MARTINS, 2012). Nessa técnica as águas pluviais são absorvidas por intermédio de um revestimento de alta porosidade com taxas de permeabilidade superiores a 0,2cm/s, estão representados na Figura 8, na Figura 9 e na Figura 10, e são armazenadas na base do pavimento temporariamente, que por isso deve ser dimensionada com esse fim (MARTINS, 2012).

Figura 8 - Representação de pavimento em concreto permeável



Fonte: INFRAESTRUTURA URBANA. **Pavimento.** Disponível em:< <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/>>. Acesso em: 15 set.2016.

Figura 9 - Exemplo de pavimento poroso



Fonte: RHINO PISOS. **Pavimento poroso.** Disponível em:< <http://www.rhinopisos.com.br/>>. Acesso em: 15 set.2016.

É constituído de uma camada de revestimento drenante, que é colocada sobre repetidas camadas de material granular, o revestimento pode ser de concreto poroso, asfáltico ou de cimento (em ambos os casos a sua granulometria é isenta de finos), ou de blocos pré-moldados de concreto vazados intertravados (DIAS e ANTUNES, 2010). Logo abaixo do revestimento é colocada uma camada de manta geotêxtil ou filtro de areia (camada filtrante) e na sequência, uma camada de brita com índice de vazios elevado (DIAS e ANTUNES, 2010). Nas faces de contato entra a camada de brita e o solo natural também são necessários filtros que evitem a migração de finos para a base do pavimento (DIAS e ANTUNES, 2010). Já o revestimento de blocos vazados é colocado acima de uma camada de areia, que é colocada acima de uma camada filtrante e outra camada de brita, semelhantemente ao pavimento de concreto (DIAS e ANTUNES, 2010). É feito o preenchimento dos vazios dos blocos com pedrisco, areia ou grama (DIAS e ANTUNES, 2010).

Figura 10 – Pavimento permeável com preenchimento em grama



Fonte: PROJETO ARQUITETONICO. **Pavimento permeável.** Disponível em:<
<http://www.projetoarquitetonico.com/>>. Acesso em: 15 set.2016.

Têm como principais vantagens a redução das vazões de pico por meio do armazenamento provisório; a redução das dimensões das tubulações à jusante; a redução de ruído dos pneus; a diminuição de poças d'água; a aderência entre pneu e revestimento assegurada; a atenuação de poluentes por decantação e possível recarga do lençol freático (BRITO, 2006). E como principais desvantagens a tendência de ocorrer colmatação; a indispensabilidade de manutenção constante, o perigo de poluição do lençol freático na infiltração das águas pluviais; a carência de estudos/experiências do uso em áreas de grande volume de tráfego, o que impossibilita a detecção de outras ameaças (BRITO, 2006).

Conforme o tipo de tráfego usual na via, não é permitido que ocorresse infiltração da base para o sub-leito, pois em caso contrário pode haver perda de resistência e ter como consequência o aparecimento de trilhas de roda no revestimento (MARTINS, 2012). A drenagem da base pode ocorrer por intermédio de drenos perfurados transversalmente à via interligados ao sistema de micro-drenagem convencional (MARTINS, 2012).

O pavimento permeável tem se mostrado como uma solução vantajosa, também sob a ótica econômica, pois os elevados custos na sua construção e manutenção, em comparação aos pavimentos convencionais, são compensados pela diminuição dos custos elevados com o sistema de drenagem urbana, tendo em vista que as vazões geradas são inferiores (BAPTISTA *et al*, 2005).

4.4.5 Poços

São estruturas pontuais com baixa ocupação de área, executadas para escoar as águas da chuva, por infiltração, diretamente para o interior do solo, estão apresentados na Figura 11, Figura 12 e na Figura 13 por meio de um projeto que associa várias técnicas compensatórias (BAPTISTA *et al*, 2005).

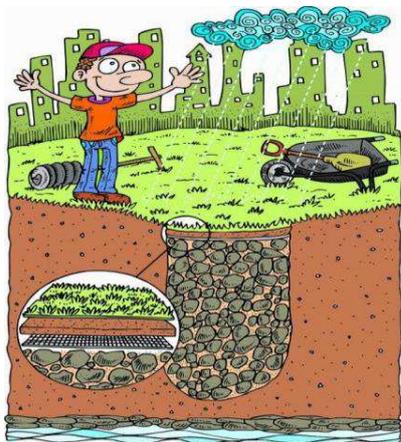
Essas estruturas têm a função de armazenar e possibilitar a infiltração das águas decorrentes do escoamento superficial, ou por uma rede de drenagem a água pluvial é coletada e encaminhada ao poço semelhantemente à trincheira de infiltração e difere no aspecto que o poço de infiltração não é uma estrutura linear e sim, pontual e vertical, que viabiliza a infiltração na direção radial (BRITO, 2006).

Figura 11 – Esquema de poço de infiltração



Fonte: AQUAFLUXUS. **Poço de infiltração**. Disponível em:< <http://www.aquafluxus.com.br/>>. Acesso em: 20 set.2016.

Figura 12 – Representação de um poço de infiltração



Fonte: CÉU DA TERRA. **Poço de infiltração**. Disponível em:< <http://ceudaterra.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 20 set.2016.

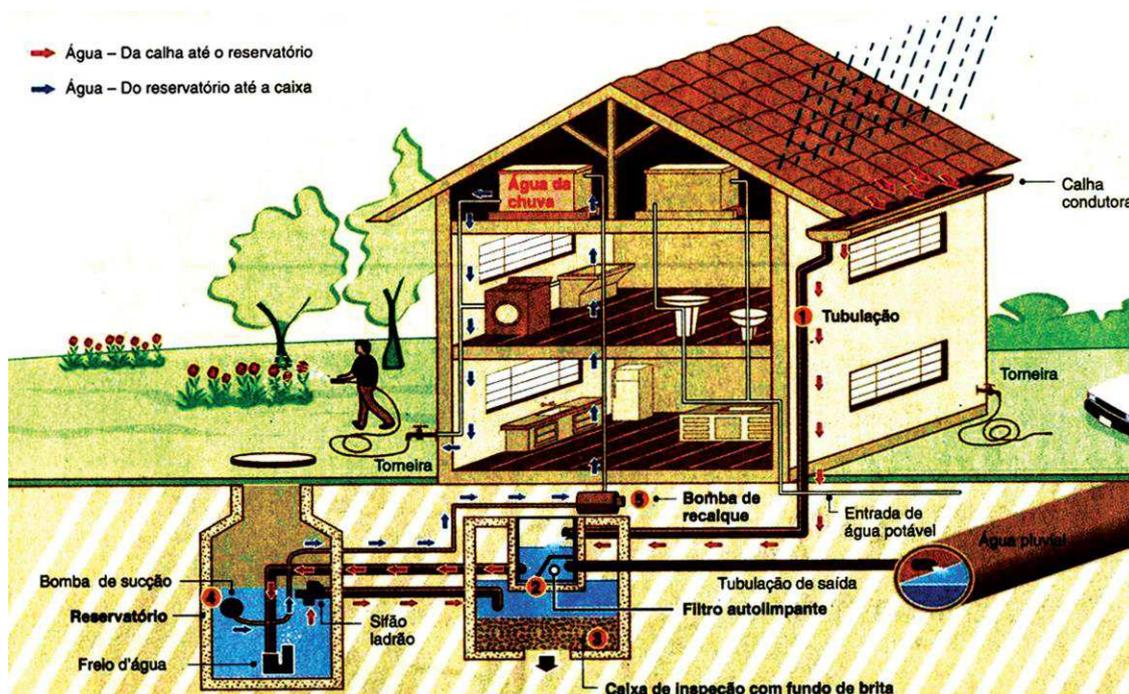
Existem duas maneiras pelas quais as águas armazenadas nos poços podem ser evacuadas: infiltração no solo ou a injeção no lençol subterrâneo (BAPTISTA *et al*, 2005). No entanto, a injeção no lençol é, até mesmo, proibida em alguns países devido ao risco considerável de contaminação do lençol (BAPTISTA *et al*, 2005). Essa solução de drenagem, na fonte, toda água pluvial é lançada à priori no poço de infiltração e somente quando o solo não conseguir mais absorver a água e o poço estiver completamente cheio, que a água é lançada no sistema convencional de drenagem já existente, isso ocorre por meio de extravasores que o próprio poço de infiltração possui ou por uma caixa de passagem localizada anterior ao sistema (REIS *et al*, 2008).

Os poços devem ser preenchidos com material poroso ou não ser executado com preenchimento, o que defini isso é o volume de água e precisa ser armazenado (REIS *et al*, 2008).

O sistema é definido como um poço escavado no solo, tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo fazem o revestimento interno, na face de contato entre o solo e o tubo é colocada uma manta geotêxtil e o fundo é revestido com uma camada de agregados graúdos que também é envolta pelo geotêxtil, que confere a permeabilidade para o solo do volume armazenado em seu interior (REIS *et al*, 2008).

intermédio da Figura 14 e Figura 15, onde se percebem as duas modalidades de telhados armazenadores.

Figura 14 – Esquema de telhado armazenador



Fonte: BRASIL. Cidades. **Telhado armazenado**. Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/>>. Acesso em: 20 set.2016.

Essa medida compensatória pode ser utilizada em telhados planos ou com pequena inclinação, inferior a 5%, com a execução de compartimentos (BAPTISTA *et al*, 2005).

Uma opção dentro dessa medida compensatória é o teto verde, que é a expressão usada para as lajes e telhados recobertos por uma camada vegetal, o teto verde coleta e filtra a água e substitui a superfície natural de infiltração das águas modificadas pelo edifício. A vegetação é plantada em cima de um solo tratado com areia e compostos orgânicos que são espalhados sobre uma forração integrada por uma barreira contra raízes, um reservatório de drenagem e uma membrana resistente à água (BENINI, 2015).

Figura 15 – Exemplo de telhado verde



Fonte: AMAGAI IMÓVEIS. **Telhado verde**. Disponível em: <<http://www.amagai.com.br/>>. Acesso em: 20 set.2016.

Quando é utilizada a opção de tetos verdes, esses conferem a vantagem adicional na forma de proteção térmica, ao contribuir para o isolamento térmico do edifício (BAPTISTA *et al*, 2005). No caso de telhados com declividade dentro do padrão de 5% ou menos é construído um poço de infiltração na base da edificação para servir de exutório (BAPTISTA *et al*, 2005).

Telhados armazenadores armazenam temporariamente as vazões escoadas e devem ser executados juntamente com mecanismos de regulação de vazão relacionados a uma vazão máxima determinada (BRITO, 2006). A técnica compensatória que é descrita no presente tópico tem como principais vantagens a diminuição das vazões escoadas à jusante; a diminuição das dimensões das tubulações à jusante; a atenuação da ameaça de inundação; o baixo investimento; o método é bem integrado ao tecido urbano e não difere à técnica de construção de telhados tradicionais (BRITO, 2006). E como desvantagens a indispensabilidade de manutenção periódica; a impossibilidade de uso em telhados de inclinações superiores a 5%; a acurácia necessária aos cálculos de estabilidade, quando a técnica é utilizada em telhados já existentes (BRITO, 2006).

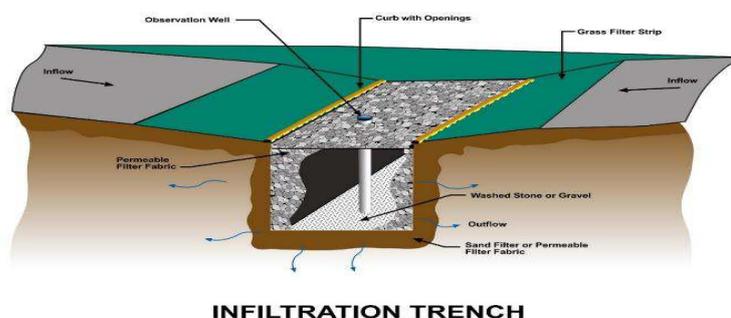
No exterior essa técnica é utilizada de forma que o telhado fica recoberto com britas e seixos, essa modalidade é adotada quando não se prevê o acesso a esse ambiente para as pessoas. Tem como vantagem a proteção da impermeabilização da ação mecânica, dos raios ultravioletas e de bruscas variações de temperatura (BAPTISTA et al, 2005).

A atratividade dos telhados armazenadores se dá por conta de não ter necessidade de qualquer espaço suplementar para a sua execução e por conferir um grande potencial de integração aos projetos competentes à arquitetura e ao urbanismo, no caso dos tetos verdes, que tratará a edificação como parte da paisagem urbana (BAPTISTA et al, 2005).

4.4.7 Trincheiras

Classificadas como técnicas compensatórias lineares de implantação junto à superfície ou a pequenas profundidades, como mostrado na Figura 16 e Figura 17, têm por objetivo receber as águas de chuva que incidem perpendicularmente ao comprimento da sua estrutura, a qual possibilita a infiltração e o armazenamento temporário (BAPTISTA *et al*, 2005). Esses dispositivos apresentam larguras e profundidades pequenas e não atingem um metro, no entanto os seus comprimentos possuem dimensões bem superiores em relação às outras (BAPTISTA *et al*, 2005).

Figura 16 – Esquema de trincheira de infiltração



Fonte: AQUAFLUXUS. **Trincheira de infiltração**. Disponível em: < <http://www.aquafluxus.com.br/>>. Acesso em: 20 set.2016.

As trincheiras de infiltração têm por função principal amortecer as cheias ao desempenhar o papel de um reservatório. O ótimo desempenho desse dispositivo é ocasionado pelo favorecimento da infiltração, a qual reduz do escoamento superficial (SILVA, 2004).

O revestimento dessas estruturas pode ser feito com diferentes tipos de materiais, tais como: asfalto poroso, concreto, grama, entre outros e seu uso é destinado geralmente às calçadas ao longo de uma via, em estacionamentos ou jardins (BRITO, 2006).

As trincheiras de infiltração são compostas por valetas completadas com material granular, um filtro geotêxtil para envolver o material de enchimento e deve ser recoberto ainda por uma camada de seixos o que nos dá como resultado uma superfície drenante (SILVA, 2004).

Têm como principais vantagens a diminuição das vazões de pico de escoamento à jusante; a diminuição das dimensões da tubulação à jusante; redução de custos; abaixamento dos rios de inundação; fácil execução; boa relação com o meio urbano; funciona como área de recarga para os aquíferos e não há a necessidade de exutório, no caso de trincheiras de infiltração (BRITO, 2006). E como principais desvantagens: o risco de colmatção; a necessidade de manutenção regular; no caso de declividades muito alta se torna inviável; ameaça de poluição do lençol freático (BRITO, 2006).

Figura 17 – Exemplo de trincheira de infiltração



Fonte: AQUAFLUXUS. **Trincheira de infiltração**. Disponível em: < <http://www.aquafluxus.com.br/>>. Acesso em: 20 set.2016.

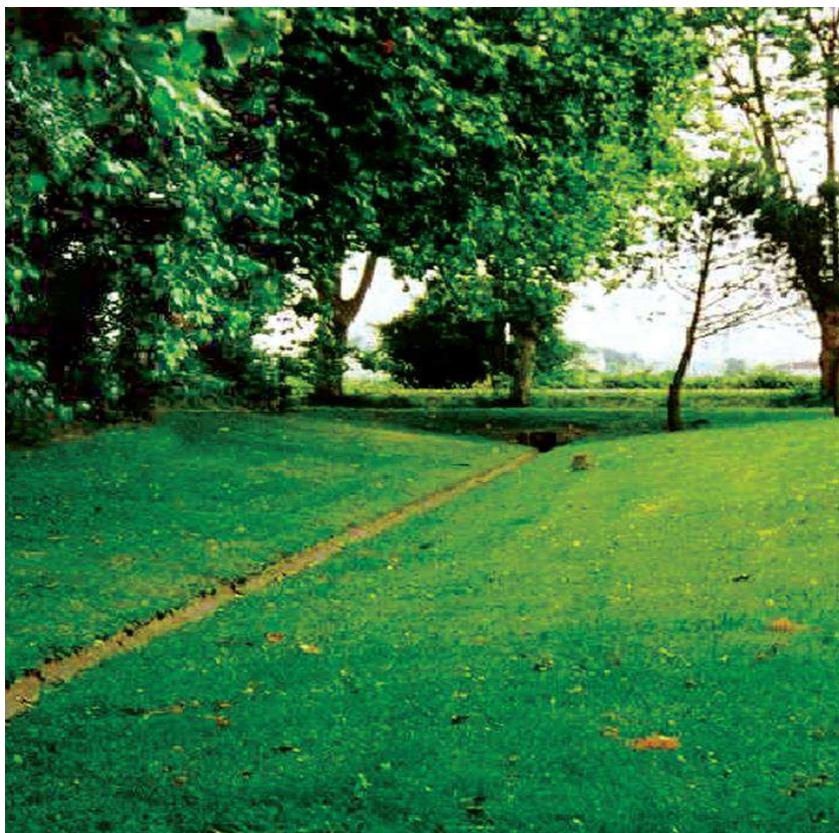
4.4.8 Valas e valetas

Caracterizam-se por possuir uma constituição simples em depressões escavadas no solo que objetivam o armazenamento temporário e possivelmente a infiltração no solo, mostradas na Figura 18 e Figura 19 (BAPTISTA et al, 2005).

Segundo Canholi, (1995) as valas e valetas devem ser revestidas com grama e ser preferencialmente executadas próximas às ruas e estradas, como também junto a espaços de estacionamento e podem trabalhar em conjunto com as trincheiras de infiltração.

A diferença entre valas e valetas é que as valas são executadas com grandes larguras e baixas declividades no sentido longitudinal, já as valetas, no que lhe concerne são valas de pequenas profundidades.

Figura 18 – Exemplo de valeta

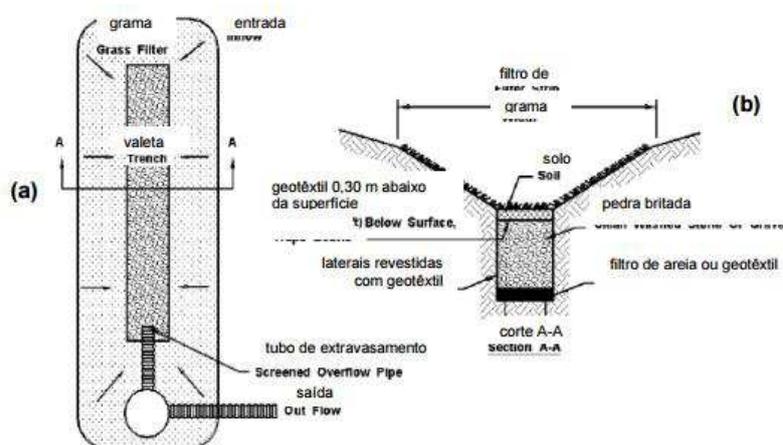


Fonte: BAPTISTA *et al.*, 2005

O objetivo principal dessa técnica compensatória é a diminuição dos picos de vazão, o qual é feito quando o dispositivo recebe as águas pluviais para o armazenamento temporário seguido de infiltração ou evacuadas por um exultório, o qual reduz o escoamento superficial (BRITO, 2006).

Têm como principais vantagens a diminuição das dimensões das tubulações à jusante; corrobora para a criação de paisagens vegetais; atenua o risco de inundações; funciona como área de recarga para o lençol freático; podem ser usadas, possivelmente, em espaços para recreação; por meio da decantação purifica a água (BRITO, 2006). E como principais desvantagens a eventual possibilidade de colmatagem; necessidade de manutenção regular; ameaça de poluição do lençol freático; possibilidade de retenção permanente, estagnação, da água (BRITO, 2006).

Figura 19 – Esquema de valeta de infiltração – a) vista em planta e b) vista em corte



Fonte: BROWN *et al.*, 2001

5 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho foi executado um levantamento bibliográfico para a fundamentação teórica do tema proposto, com conceitos de hidrologia, drenagem urbana, drenagem urbana compensatória. Procedeu-se com uma pesquisa de campo, por intermédio da aplicação de um questionário junto aos lojistas e moradores da Av. Lourenço Vieira da Silva, por meio desse questionário foram melhores definidas as áreas para o estudo da drenagem urbana – para a determinação dos pontos na avenida maior deficiência na drenagem e de possibilidades de intervenções. Foram realizadas consultas nos órgãos de gestão pública de São Luís e do Estado do Maranhão como: Secretaria de Infraestrutura

do Estado do Maranhão - SINFRA, no qual não foram encontrados dados por se tratar de uma via municipal, cuja responsabilidade é, a Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos de São Luís – SEMOSP, onde também não foram encontrados dados, pois o antigo órgão público Departamento de Estradas de Rodagem do Maranhão, DER-MA, responsável por gerir e executar a obra a contento foi extinto e a empresa que realizou a obra, também já não existe.

Foi realizado o ensaio do Infiltrômetro de duplos anéis concêntricos para a obtenção da taxa de infiltração do solo saturado. Esse ensaio consiste em dois cilindros concêntricos, apresentados na Figura 21. Os cilindros devem apresentar diâmetros de 25cm e 50cm e altura para ambos de 30cm. A instalação dos cilindros deve ser feita de forma concêntrica e enterrados a uma profundidade de 15cm no solo, Figura 22 e Figura 23. A água é conduzida aos dois cilindros no mesmo instante e com uma régua graduada é analisado o nível da água no cilindro interno com intervalos de tempo pré-determinados. Dessa forma, a diferença de leitura entre dois espaços de tempo representa a infiltração vertical neste período (CARVALHO *et al*, 2007).

No caso específico desse ensaio, utilizaram-se dois *data loggers* - Figura 20 - para aferir as pressões dentro do cilindro interno (submerso) e fora dos cilindros (atmosfera)

Figura 20 - *Data Loggers*



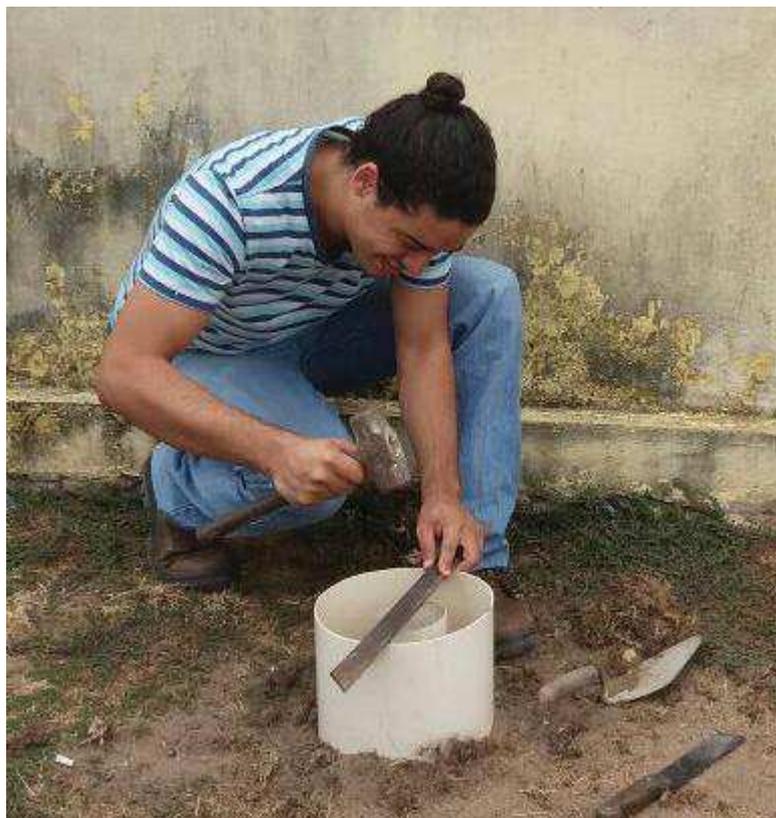
Fonte: Foto tirada pelo autor durante a pesquisa.

Figura 21 - Ensaio infiltrômetro duplo anel concêntrico



Fonte: Foto tirada pelo autor durante a pesquisa.

Figura 22 - Cravação dos cilindros



Fonte: Foto tirada pelo autor durante a pesquisa.

Figura 23 - Repetição do ensaio de infiltrômetro de duplo anel concêntrico



Fonte: Foto tirada pelo autor durante a pesquisa.

Em seguida, por intermédio da Quadro 3, que foi construída baseada na experiência francesa, com recomendações dos EUA (USEPA, 1993). Também utilizaram-se a contribuição europeia (DAYWATER, 2003) e também de acordo

com o levantamento das profundidades dos aquíferos que se localizam na área de estudo, apresentados na Figura 24, selecionou-se as técnicas possíveis de se apontar no trabalho.

Quadro 3 – Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol	Proximidade do leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	+	+	+	++	+++	++
Bacia de infiltração	+++	+	+++	+++	+++	+++
Valas e valetas de detenção	+	++	+	++	++	++
Valas e valetas de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+++
Pavimentos porosos	++	+++	++	+	+	+++
Revestimentos permeáveis	++	+++	++	+	+	+++
Trincheiras de detenção	+	++	++	++	++	+
Trincheiras de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+
Poços de infiltração	+++	+	+++	+++	+	+
Telhados armazenadores	+	+	+	+	+	+
Reservatórios individuais	+	+	++	++	+	+

Legenda: +++: grande importância ++: média importância +: pequena ou nula importância
 Fonte: BAPTISTA, et al, 2005, p. 48.

É possível observar na Figura 24 a seguir a área de estudo fica na Zona 2 indicada pela sigla Z2, que tem como características, segundo Sousa (1997), aquíferos com grandes profundidades, presença água doce, livres e confinados. E somente a partir de 50m água subterrânea própria para a captação.

Figura 24 – Zoneamento das águas subterrâneas da Ilha do Maranhão

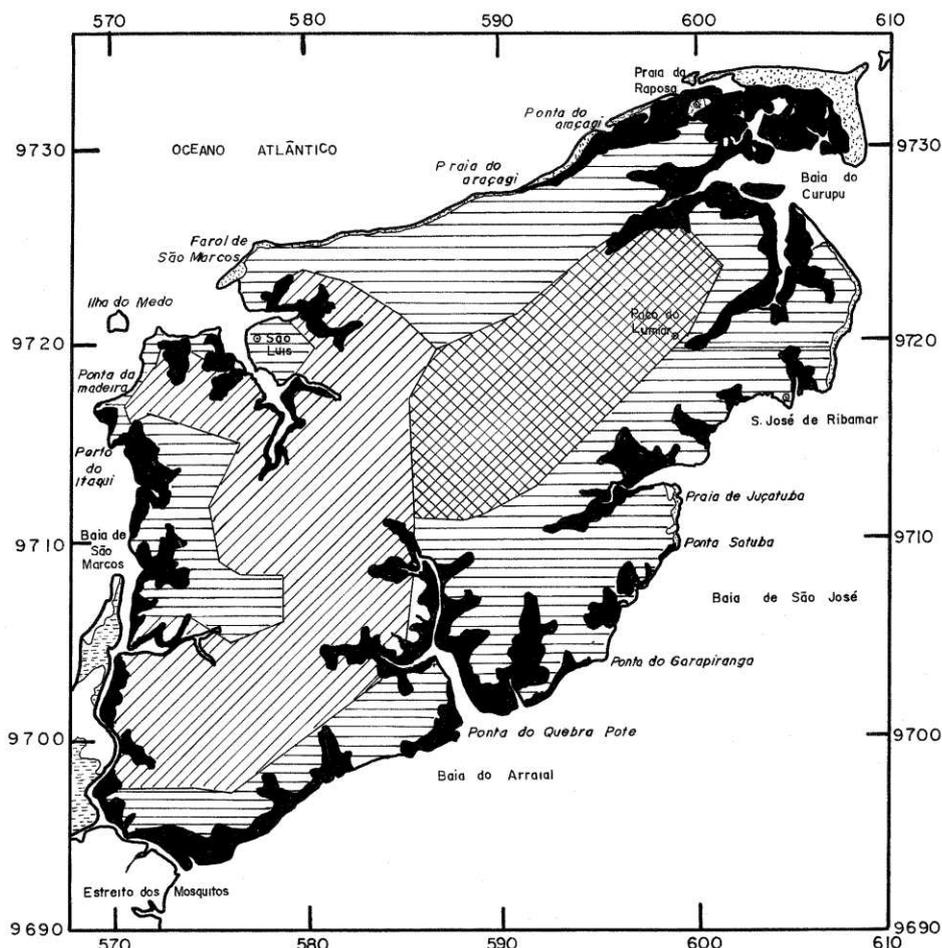


FIGURA - 3 : Zoneamento das águas subterrâneas da Ilha do Maranhão (simplificado)

LEGENDA

- Z1** Aquíferos confinados profundos com água doce (maiores que 100 m e/ou 150m) em sedimentos pouco consolidados. Os aquíferos confinados profundos (a 200m abaixo do nível médio do mar) apresentam água salgada.
- Z2** Aquíferos livres e confinados profundos com água doce em sedimentos não a pouco consolidados. Presença de aquíferos de boa potencialidade para captação de água subterrânea (a mais de 50 m de profundidade)
- Z3** Aquíferos livres e semiconfinados com baixa potencialidade para captação de água subterrânea. Presença de aquíferos superficiais com água doce em calhas de drenagem e planícies fluviais
- Z4** Aquíferos livres com água salobra e salgada em sedimentos não consolidados. Presença de aquíferos superficiais com água doce em ambiente de água salgada.
- Z5** Presença de solos indiscriminados de mangues em ambiente de água salgada. Não recomendável para captação de água subterrânea

Fonte: Sousa, 1997.

Conforme Sousa (1997) segue a explicação sobre cada zona:

1. Z1: Aquíferos confinados profundos com água doce (maiores que 100m e ou 150m) em sedimentos pouco consolidados. Os aquíferos confinados profundos (a 200m abaixo do nível médio do mar) apresentam água salgada.
2. Z2: Aquíferos livres e confinados profundos com água doce em sedimentos não pouco consolidados. Presença de aquíferos de boa

potencialidade para captação de água subterrânea (a mais de 50m de profundidade).

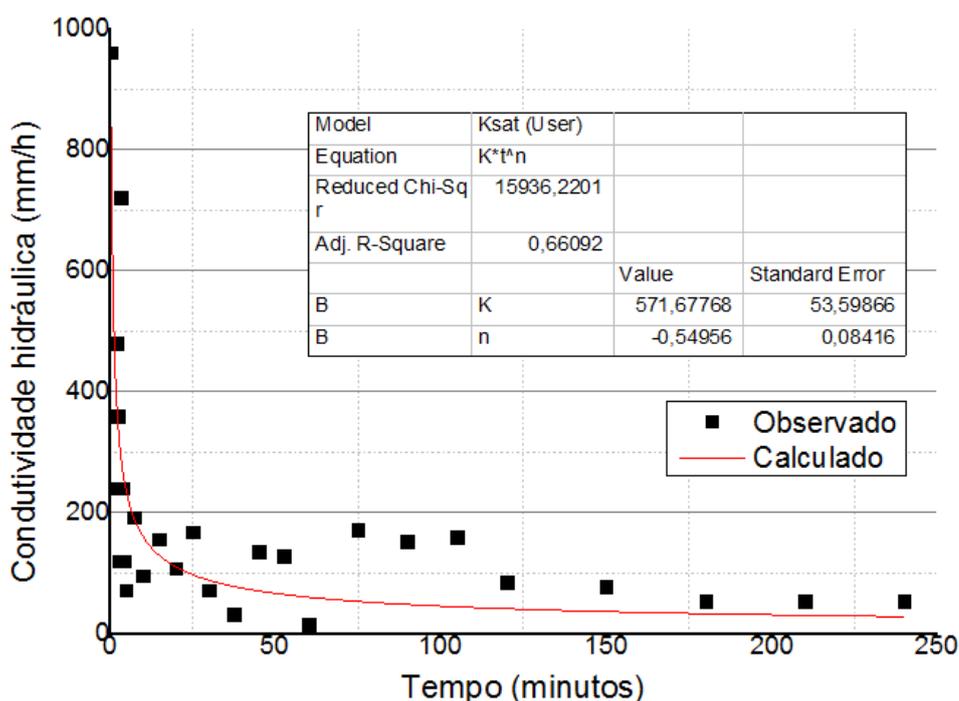
3. Z3: Aquíferos livres e semiconfinados com baixa potencialidade para captação de água subterrânea. Presença de aquíferos superficiais com água doce em calhas de drenagem e planícies fluviais.

4. Z4: Aquíferos livres com água salobra e salgada em sedimentos não consolidados. Presença de aquíferos superficiais com água em ambiente de água salgada;

5. Z5: Presença de solos indiscriminados de mangues em ambiente de água salgada. Não recomendável para captação de água subterrânea.

Os resultados dos ensaios de duplo anel concêntricos foram traduzidos nos gráficos a seguir:

GRÁFICO 1 - Resultados



Fonte: Resultado extraído pelo autor durante a pesquisa.

A taxa de infiltração foi calculada, segundo Cauduro e Santaló (1986), com o uso da fórmula: $I = K \cdot t^{-n}$, onde: I, corresponde à taxa de infiltração instantânea; K, corresponde à taxa de infiltração instantânea; t, corresponde ao tempo e n, corresponde a um expoente da equação que varia segundo o intervalo de $-1 < n < 0$, no solo da avenida em estudo foi de $1,34822E-05$ m/s, que segundo o Quadro 4 trata-se de um solo de boa probabilidade de infiltração. Visto que a profundidade

mínima para a captação de água potável está a mais de 50m, conclui-se que se pode trabalhar com medidas que permitam uma maior infiltração de água no solo.

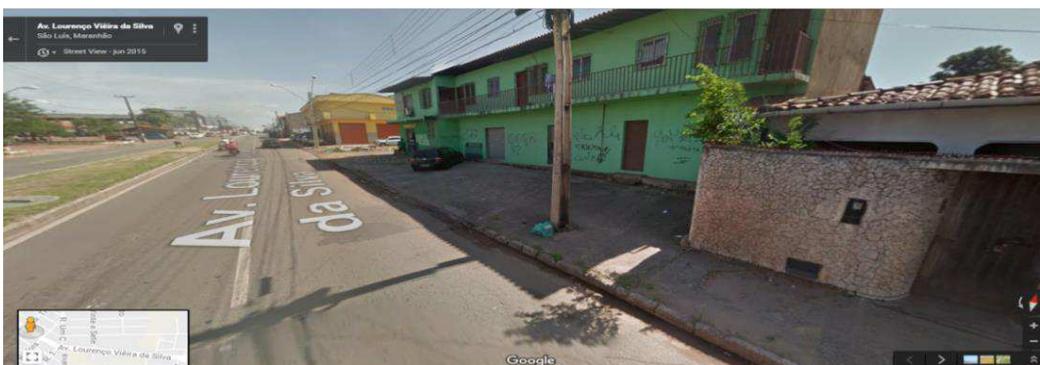
Quadro 4 – Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos
(Musy&Soutter, 1991) - Adaptada

K (m/s)	10 ^{^(-1)}	10 ^{^(-2)}	10 ^{^(-3)}	10 ^{^(-4)}	10 ^{^(-5)}	10 ^{^(-6)}	10 ^{^(-7)}	10 ^{^(-8)}	10 ^{^(-9)}	10 ^{^(-10)}	10 ^{^(-11)}
Probabilidade de infiltração	Excelente			Boa		Média a baixa			Baixa a nula		

Fonte: BAPTISTA et al, 2005, p. 86.

Com um solo de boa probabilidade de infiltração procedeu-se na Avenida Lourenço Vieira da Silva com a observação de áreas possíveis para o uso de técnicas de infiltração, levou-se em conta que áreas próximas a postos de combustíveis e oficinas mecânicas não seriam viáveis para a infiltração, pois haveria o risco de contaminação e foram observados 14 estacionamentos mostrados nas figuras posteriores, juntamente com suas respectivas áreas.

Figura 25 - Estacionamento 1 (aproximadamente 175m²)



Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 1**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 26 – Estacionamento 2 (aproximadamente 3000m²)



Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 2**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 27 – Estacionamento 3 (aproximadamente 200m²)

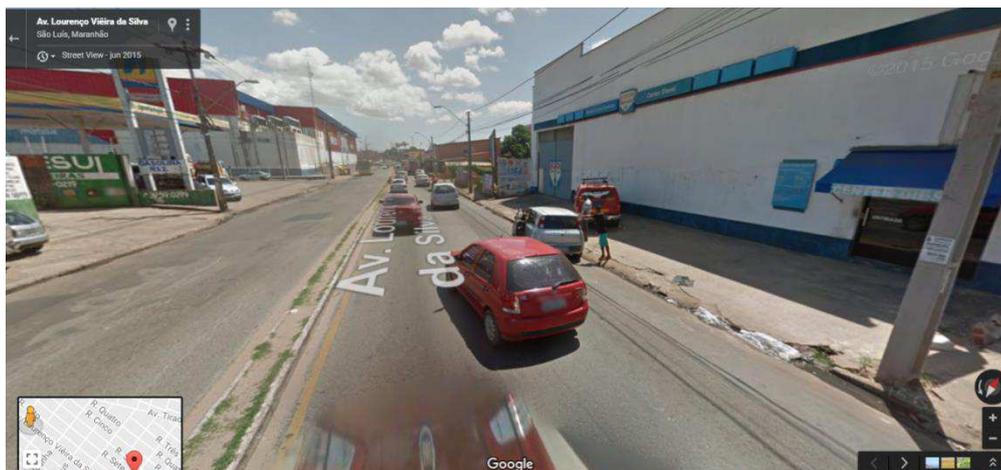


Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 3**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 28 - Estacionamento 4 (aproximadamente 500m²)



Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 4**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 29 – Estacionamento 5 (aproximadamente 225m²)

Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 5**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 30 – Estacionamento 6 (aproximadamente 300m²)

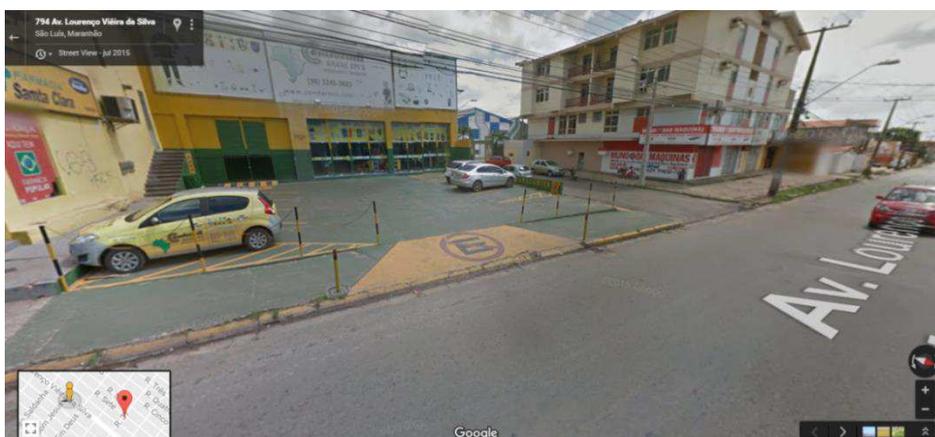
Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 6**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 31 - Estacionamento 7 (aproximadamente 200m²)

Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 7**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 32 – Estacionamento 8 (aproximadamente 90m²)

Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 8**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 33 – Estacionamento 9 (aproximadamente 375m²)

Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 9**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 34 – Estacionamento 10 (aproximadamente 196 m²)

Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 10**. Disponível em:<<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 35 – Estacionamento 11 (aproximadamente 98m²)



Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 11**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 36 – Estacionamento 12 (aproximadamente 98m²)



Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 12**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 37 – Estacionamento 13 (aproximadamente 98m²)



Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 13**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

Figura 38 – Estacionamento 14 (aproximadamente 150m²)

Fonte: GOOGLE MAPS. **Estacionamento 14**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set.2016.

O custo estimado para essa substituição de pavimento impermeável por um poroso, especificamente nos estacionamentos seguindo a Quadro 5 fica, devido à soma das áreas dos estacionamentos estimada ser 5.705,00 m² multiplicada por 62,41R\$/m², igual a R\$ 356,049.05

Quadro 5 – Técnicas para controle viário: Implantadas junto aos sistemas de infraestrutura viária existentes. Adaptada

Estrutura	Custo de implantação (R\$/m ²)
Blocos de concreto vazados – evacuação por infiltração	62,41

Fonte: BAPTISTA, *et al*, 2005, p. 225.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção mostra os resultados e soluções apontadas pelo trabalho que visam mitigar os problemas com alagamentos frequentes nos períodos de chuvas, como é exposto nas figuras subsequentes (Figura 39, Figura 40 e Figura 41).

Figura 39 - Alagamento da Avenida Lourenço Vieira da Silva, 2 de Abril de 2016



Fonte: FOLHA SÃO LUÍS. **Alagamento**. Disponível em:<<https://folhasaoluiscom.wordpress.com.>> Acesso em: 21 set.2016.

Figura 40 - Alagamento da Avenida Lourenço Vieira da Silva, 5 de Maio de 2016



Fonte: Foto tirada pelo autor para a pesquisa

Figura 41 - Alagamento da Avenida Lourenço Vieira da Silva, 5 de Maio de 2016



Fonte: Foto tirada pelo autor para a pesquisa

Este trabalho se limitou a apontar qual seria o melhor viés das técnicas compensatórias a serem adotadas, como se trata de um solo de boa permeabilidade e possui uma profundidade de 50m para o aquífero de onde podem ser captadas as águas, percebeu-se que as técnicas que envolvem a infiltração de água no solo certamente serão as melhores para diminuir o escoamento superficial e solucionar os problemas com a drenagem das águas pluviais.

Ao verificar toda a extensão da avenida percebeu-se a existência de 14 estacionamentos totalmente impermeáveis, prática recorrente no Brasil que contribui para o aumento do escoamento superficial que corrobora com os problemas de inundações.

A sugestão do presente estudo para esses estacionamentos impermeáveis é a substituição do pavimento atual para um pavimento dotado de estrutura porosa, como os blocos de concreto vazados que possuem coeficiente de escoamento superficial igual a 0,03, e com dispositivos de facilitação da infiltração, onde ocorrerá a tanto a detenção temporária como a infiltração de parte das águas pluviais. O resultado dessa intervenção seria o amortecimento das vazões, a alteração temporal nos hidrogramas e a redução dos volumes escoados.

O maior entrave para o emprego desse tipo de técnica é o risco de colmatação, que é o entupimento dos poros por conta de finos carregados pela

chuva, também por conta da poeira. Outro problema seria a poluição do lençol freático, mas esse tipo de técnica também é reconhecida pela remoção de poluentes, pois grande parte dos poluentes encontra-se associada a sólidos em suspensão, que acabam retidos na estrutura do pavimento.

7 CONCLUSÃO

A boa drenagem urbana da cidade é uma das características de um ambiente saudável e seguro para a sociedade usufruir de sua cidadania, porque são inúmeros os problemas causados pela ausência de uma drenagem plena das águas pluviais.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise de dois modelos de drenagem das águas pluviais: o modelo clássico e o modelo sustentável - por meio de técnicas compensatórias. A existência de um dos modelos não implica no abandono do outro, mas a forma sustentável de tratar a drenagem tem como consequência aliviar a forma clássica de drenagem urbana – já existente - ao diminuir o escoamento superficial por intermédio de diversas técnicas que ao longo do trabalho foram elencadas e assim diminuir à demanda de uma maior capacidade dos dispositivos tradicionais de drenagem.

E não só por intermédio de técnicas estruturais é realizada a drenagem sustentável, mas também com o auxílio da legislação, dos estatutos, de campanhas educacionais que visem evitar os transtornos causados pelas enchentes e inundações ribeirinhas desde as pequenas ações cotidianas até o fato de um novo empreendimento ter o dever de adotar meios de diminuir as vazões provenientes do seu empreendimento.

A Avenida Lourenço Vieira da Silva é uma via de grande importância para São Luís, por isso a adoção de técnicas compensatórias para resolver o problema da falta de drenagem das águas pluviais foi o foco desse trabalho. A elaboração de um projeto de drenagem compensatória para essa avenida é viável e esse deve ser o caminho para uma melhora qualitativamente dos problemas de drenagem das principais vias de cidades que anseiam por resolver esses problemas e dessa forma garantir mais cidadania e qualidade de vida para a sua população.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Elienê Pontes de; TELES, Mércia Gabriely Linhares; LAGO, Willinielsen Jackieline Santos. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal, Brasil. **Anais...** São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2009.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana**: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP. 2015. Tese (Doutorado de Geografia em Produção do Espaço Geográfico) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2015.

BOTELHO, Manoel Henrique C. **Águas de Chuva**: engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BOTELHO, Manoel Henrique C. **Aguas de Chuva**: engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Blucher, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de Drenagem de Rodovias**. Disponível em: <www1.dnit.gov.br/normas/download/Manual_de_Drenagem_de_Rodovias.pdf> Acesso: 29 jun. 2016

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ciclo Hidrológico**: Águas Subterrâneas e o Ciclo Hidrológico. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso: 26 abr. 2016.

BRITO, Débora Silva de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. Tese (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília.

CANHOLI, A. P. **Soluções estruturais não-convencionais em drenagem urbana**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R.; SANTALÓ, J. B. **Manual de Ensaios de Laboratório de Campo para Irrigação e Drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH-UFRGS, 1986. 216 p.

CARVALHO, Daniel F; MELLO, Jorge L.P; SILVA, Leonardo D. B. da. **Irrigação e Drenagem**. Disponível em: <www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/.../LICA%20Parte%201.pdf> Acesso: 29 Jun. 2016.

CHAVES, Augusto T. **Projeto de uma Estação Fluviométrica Automática**. Disponível em:

<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/377/1/HAROLDOCHAVES.pdf>>
Acesso: 29 jun. 2016.

COLLISCHONN, Walter e DORNELLES, Fernando. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Coleção ABRH, 2013

DIAS, Fernanda Spitz; ANTUNES e Patrícia Tainá da Silva Correa. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2010. Projeto (Curso de Engenharia Civil). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

FERNANDES, Carlos. **Microdrenagem**: um estudo inicial. Disponível em: <drb-assessoria.com.br/1historiadadrenagem.pdf> Acesso: 25 mar. 2016.

FUGITA, Oscar (Org.). **Drenagem Urbana**: Manual de Projeto. São Paulo: Governo do Estado, 1979.

HENRIQUES, Juscelino A. **Distribuição da Contaminação Fecal em Águas de Drenagem Afluentes do Canal do Prado, Campina Grande – PB**. Disponível em: <http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_499.pdf> Acesso: 25 mar. 2016

Instituto Estadual do Ambiente – INEA, RJ. **Tipos de Estação**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monithidrometeorologico/TiposEstacoes/index.htm&lang>> Acesso: 29 jun. 2016.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de Rodovias**: estudos hidrológicos e projeto de drenagem. Disponível em: <<ftp://ftp.cefestes.br/cursos/transportes/Zorzal/Drenagem%20rodovi%E1ria/apostila%20de%20drenagem%20rodovi%e1ria%20do%20prof%20jabor.pdf>>. Acesso: 1 abr. 2016.

MARTINS, José Rodolfo. **Gestão de drenagem urbana**: só tecnologia será suficiente?. 2012. Artigo Científico – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de; OLIVEIRA, Marcus Vinícius Siqueira de; SILVA, Danielle Ferreira da. **Ciclo Hidrológico Planetário**: abordagens e Conceitos. Disponível em: <<http://www.fef.br/b/arquivos/manual-art-cient-oficial.pdf>>. Acesso: 4 jun. 2016.

MOTA, Erika (Org). **Projeto Técnico**: Reservatórios de detenção. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf>. Acesso: 11 set. 2016.

PARKINSON, Jonathan; MILOGRANA, Jussanã; CAMPOS, Luiza Cintra; CAMPOS, Raquel. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**: Relatório do Workshop em Goiânia-GO dia 7 de Maio 2003. Goiânia: ABRH, 2003.

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos T; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz S. **Hidrologia Básica**. Curitiba: Blucher, 1976.

REIS, Ricardo Prado Abreu; OLIVEIRA, Lúcia Helena de; SALES, Maurício Martinés. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais**. Disponível em: <www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5361/3286>. Acesso 11 set. 2016.

SILVA, Luciano Castro da. **Sistemas de drenagem urbana não-convencionais**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil com ênfase Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

SOUSA, Sergio Barreto de. **Sistema aquífero da ilha do Maranhão (MA)**. Artigo Científico. 1997 (1st Joint World Congresso on Groundwater) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão – São Luís, 1997.

SOUZA, Vladimir C. B; MORAES, Luiz Roberto S; BORJA, Patrícia C. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**: Déficit na Drenagem Urbana, buscando o entendimento e contribuindo para a definição, v. 1, n. 2, p. 162-175, 2013.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

VERTEMATTI, José Carlos; AGUIAR, Paulo Roberto. **Sistemas Drenantes: Aspectos Teóricos e Práticos**. São Paulo: RHODIA S. A., 1977.