

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**SISTEMA RESIDENCIAL DE INFILTRAÇÃO
DAS ÁGUAS PLUVIAIS**

**FLÁVIO SILVA DE ASSIS
MATHEUS DE OLIVEIRA GOMES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**FLÁVIO SILVA DE ASSIS
MATHEUS DE OLIVEIRA GOMES**

**SISTEMA RESIDENCIAL DE INFILTRAÇÃO
DAS ÁGUAS PLUVIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da Rede Doctum como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Bárbara Dutra da Silva Luz.

Caratinga/MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

SISTEMA RESIDENCIAL DE INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

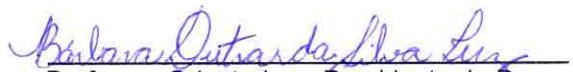
Nome completo do aluno: FLÁVIO SILVA DE ASSIS
MATHEUS DE OLIVEIRA GOMES

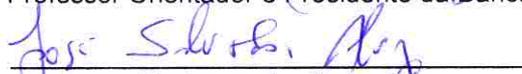
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Bárbara Dutra Da Silva, José Salvador Alves e Camila Alves Da Silva, às 08:30 horas do dia 14 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: ÓTIMA (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

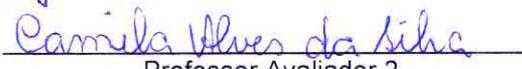
Trabalho indicado para publicação: () SIM (x) NÃO

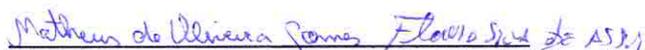
Caratinga,

14 de dezembro de 2016


Professor Orientador e Presidente da Banca


Professor Avaliador 1


Professor Avaliador 2


Aluno(a)


Coordenador(a) do Curso

Dedicamos esta vitória a Deus, pois foi através do seu sustento que conseguimos chegar até aqui, aos nossos pais, por ter nos concebido e ter nos ensinado a crescer, e a todos os amigos e familiares que estiveram ao nosso lado nas horas difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus nosso eterno protetor, por ter nos dado forças para prosseguir nesta longa jornada, pois sem ele a vitória não seria alcançada. Agradecemos aos nossos pais, amigos e familiares, que foram pessoas importantes em todo o nosso processo de aprendizado. A nossa orientadora por ter nos auxiliado e proporcionado hoje, esse sentimento de sucesso e realização. E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a nossa formação, a todos o nosso muito obrigado.

*“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia,
porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito bela para ser insignificante.”*

(CHARLES CHAPLIN)

ASSIS, Flávio; GOMES, Matheus. **SISTEMA RESIDENCIAL DE INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

O presente trabalho objetiva o estudo dos sistemas de infiltração de águas pluviais e a produção de um protótipo produzido com matérias de fácil acesso. Visando o melhor aproveitamento dessas águas lançando-as diretamente no lençol freático onde estará livre de contaminações, beneficiando assim as nossas reservas de águas subterrâneas. Este trabalho compõe-se de uma revisão bibliográfica sobre um sistema de drenagem e infiltração em obras residenciais, para que se possa elaborar um plano de captação, escoamento e infiltração onde a água seja lançada diretamente no solo abaixo da obra. Devido ao relevo, ao tamanho dos terrenos das casas e às distâncias mínimas necessárias de algumas estruturas, o sistema de infiltração das águas pluviais não seria adequado para ser implantado em todas as áreas da cidade de Caratinga-Mg. Pois, sua implantação em locais com alta declividade e muito perto da estrutura poderia ser causa de desmoronamentos em períodos de precipitação elevadas. O sistema de armazenagem e infiltração da água pluvial no solo se faz bastante eficiente, mesmo para coberturas maiores. Dessa forma o projeto deve ser bem elaborado, e analisar cada caso. Não será possível implantar em todas as edificações, principalmente nas já existentes, pois se faz necessário um espaço mínimo entre as edificações e fundações.

Palavras-chave: Sistemas de infiltração. Águas pluviais. Sistema de drenagem.

ASSIS, Flávio; GOMES, Matheus. **SISTEMA RESIDENCIAL DE INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

The present objective work the study of the systems of infiltration of pluvial waters and the production of an archetype produced with substances of easy access. Aiming at the best exploitation of these waters launching them directly in the phreatic sheet where it will be free of contaminations, thus benefiting our you reserve of underground Waters. This work composes in a bibliographical revision on a system of draining and infiltration in residential works, so that it can be elaborated a plan of captation, draining and infiltration where the water is launched directly in the ground under the work. Due to the relief, to the size of lands of the houses and to the necessary least distances of some structures, the system of infiltration of pluvial waters would not be adjusted to be implanted in all the areas of the city of Caratinga-MG. The system of storage and infiltration of the pluvial water in the ground becomes sufficiently efficient, exactly for bigger coverings. Of this form the project must well be elaborated, and to analyze each case. It will not be possible to implant in all the constructions, mainly in already the existing ones, therefore the necessary becomes a space least between the constructions and foundations.

Key-words: Systems of Infiltration. Rainwater. System of draining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Ciclo hidrológico (USGS, 2016).	16
Figura 2	– Tipos de solos de acordo com sua composição em porcentagem de areia-silte-argila. (USDA,1993).	18
Figura 3	– Partes integrantes de um sistema de infiltração de água da chuva. (MECHELL & LESIKAR, 2005).	21
Figura 4	– Local onde não deve ser instalado o sistema. Acervo dos autores.	23
Figura 5	– Horizontes dos solos (ARAGUAIA, 2016).	25
Figura 6	– Indicação para cálculo de área de contribuição (NBR 10844, 1989).	26
Figura 7	– Área de captação e o volume de escoamento (MECHELL & LESIKAR, 2005).	27
Figura 8	– Separador de folha (FORTLEV, 2016).	28
Figura 9	– Vala de cascalho com sistema de tubulação perfurada (MECHELL & LESIKAR, 2005).	29
Figura 10	– Câmara de Lixiviação (MECHELL & LESIKAR, 2005).	29
Figura 11	– Tanque modular (ATLANTIS, 2008).	30
Figura 12	– Escavação do buraco. Acervo dos autores.	33
Figura 13	– Nivelamento do fundo com brita 3/4. Acervo dos autores.	34
Figura 14	– Caixas posicionadas. Acervo dos autores.	34
Figura 15	– Revestimento da parte superior, com tecido de algodão e britas 3/4. Acervo dos autores.	35
Figura 16	– Reaterro com o solo. Acervo dos autores	35
Figura 17	– Acabamento do sistema de infiltração das águas pluviais. Acervo dos autores.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Volume de água da chuva captada em 1 m^2	22
Tabela 2	– Distância entre o sistema de infiltração de água da chuva no solo e outros recursos do local.	24
Tabela 3	– Porcentagem do material retido em cada peneira.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm	Centímetro
EPA	Environmental Protection Agency
Kg	Kilograma
mm	Milímetro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OFDA/CRED	Office Foreign Disaster Assistance/Center of Research on the Epidemiology of Disasters
ONU	Organização das Nações Unidas
TCEQ	Texas Commission on Environmental Quality
TNT	Tecido não Tecido
USDA	United State Department of Agriculture
USGS	United State Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo geral	14
1.3 Objetivos específicos	14
1.4 Metodologia	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Impermeabilização das cidades e sua relação com cheias	16
2.2 Tipos de solos	18
2.2.1 Arenosos	19
2.2.2 Siltoso	19
2.2.3 Argiloso	19
2.3 Alternativa utilizada para diminuir a impermeabilidade do solo	19
2.3.1 Pavimentos de concreto permeável	19
2.3.2 Concretos permeáveis	19
2.4 Sistema de bioretenção de água de chuva	20
2.5 Partes integrantes do sistema	21
2.6 Conservação e proteção da água	21
2.7 Viabilidades de um sistema de infiltração	22
2.8 A seleção do local	23
2.8.1 Localização geográfica	23
2.8.2 Topografia	23
2.8.3 Cobertura vegetal	24
2.9 Distâncias de separação	24
2.10 Movimento da água e características do solo	24
2.10.1 Textura do solo	25
2.11 Projetos do sistema	25
2.11.1 Definições	25
2.11.2 Área de captação	27
2.12 Materiais	27
2.12.1 Calhas e tubulações	27
2.13 Tipos de sistemas de infiltração	28
2.13.1 Trincheiras	28
2.13.2 Trincheira cascalho	28
2.13.3 Câmara de lixiviação	29
2.13.4 Sistema de tanque modular	30

2.14	Instalações de drenagem de águas pluviais	30
2.15	Manutenção	31
3	MONTAGEM DO PROTÓTIPO	32
3.1	Experimento de um sistema de infiltração das águas pluviais	32
3.2	Local escolhido	32
3.3	Caracterização do solo	32
3.4	Materiais utilizados	33
3.5	Teste de drenagem	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5	CONCLUSÃO	39
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas de gestão de águas de que se tem registro ocorreram na Roma Antiga quando os romanos deixaram de retirar água diretamente do Rio Tigre e construíram inicialmente o aqueduto de Acqua Appia, passando nos anos seguintes a construção de outros aquedutos, o que resultou em uma rede hidráulica para abastecimento daquela cidade (CAMPOS,2001).

De acordo com relatórios da Organização das Nações Unidas (ONU, 2006) a atual população mundial é estimada em aproximadamente 6,5 bilhões de pessoas, tendendo a alcançar a marca de 9 bilhões em 2050, sobrecarregando ainda mais os sistemas de abastecimento de água. Com isso, cresce a necessidade da utilização de novas técnicas visando um melhor aproveitamento de água.

Neste sentido, o sistema de infiltração veio da necessidade de minimizar o volume das águas pluviais nos coletores públicos. Sua utilização se dá através de um compartimento subterrâneo devidamente dimensionado, que coleta a água para ser infiltrada no solo (CULTEC, 2004).

Sistemas de infiltração subterrâneos são geralmente aplicáveis onde há pouca ou nenhuma infiltração, e deve ser instalado em locais que são facilmente acessíveis para manutenção não rotineira. Este sistema não deve estar localizado em áreas abaixo de estruturas que não podem ser escavadas, no caso em que o sistema necessite de manutenção ou ser substituído. Esse processo de instalação do sistema de infiltração deve ser feito em local onde o solo possua capacidade de infiltração adequada e em solos onde não apresentam riscos de contaminação das águas subterrâneas(CULTEC, 2004).

Estruturas de infiltração subterrâneas, devem ser conhecidas como um sistema para se infiltrar todo o volume e qualidade da água no solo, em um período de 48 horas após a chuva. Uma estrutura do desvio do fluxo deve ser localizada adiante do reservatório, caso haja uma elevada precipitação(CULTEC, 2004).

Este trabalho trata de uma revisão bibliográfica e um protótipo de sistema de infiltração produzido com material de fácil acesso, com o objetivo de atenuar os problemas de infiltração e escoamento da água nas cidades.

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido à grande urbanização e a impermeabilização de grandes áreas, percebe-se que existe uma necessidade urgente de melhorar a captação de águas pluviais. Apesar dos municípios terem projetos para diminuir o pico de cheias durante as precipitações, tais como galerias, dutos

e piscinões, os sistemas de infiltração das águas pluviais são de grande importância para auxiliar na eficiência do processo de infiltração de água no solo.

Sua função de retenção é projetada para captar, reter, retardar e minimizar ou evitar os impactos advindos do escoamento superficial (MELO et al, 2014).

Em decorrência da pressão sobre recursos hídricos em áreas urbanas, a implantação de práticas que possam ajudar a demanda hídrica sobre os mananciais se fazem cada vez mais necessária. E uma maneira possível de ajudar esta ação é a introdução de práticas que favoreçam a infiltração de águas pluviais através de sistema de captação em pequena escala, de forma que as águas pluviais infiltrem parcialmente nos lotes urbanos. Além do mais, a adesão dessa prática implica indiretamente em um impacto positivo, pois quando ocorrem precipitações de grande intensidade, o volume de água precipitado infiltrado diretamente nos lotes pode ajudar a minimizar os impactos das inundações, colaborando para a redução das vítimas humanas e prejuízos materiais (OFDA/CRED, 2009).

Este método já é utilizado em países desenvolvidos como um sistema de drenagem e infiltração. Este estudo propõe uma alternativa que possa ajudar na infiltração direta e que pode ser instalado em cada residência, captando a água da chuva do telhado e quintal, evitando com isso ser lançada nas redes de captação da cidade, desafogando os dutos galerias e outros, e auxiliando para que a água siga seu ciclo natural de infiltração no solo.

1.2 OBJETIVO GERAL

Tem por objetivo o estudo dos sistemas de infiltração de águas pluviais e a produção de um protótipo produzido com materiais de fácil acesso. Visando o melhor aproveitamento dessas águas lançando-as diretamente no lençol freático onde estará livre de contaminações, beneficiando assim as nossas reservas de águas subterrâneas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar principais estruturas de sistemas de infiltração das águas pluviais utilizadas em outros Países.
- Desenvolver um protótipo de sistema de infiltração das águas pluviais.
- Analisar o tipo de solo presente no local de implantação do protótipo.

1.4 METODOLOGIA

O sistema de captação de águas pluviais, subdimensionados na maioria das cidades brasileiras, não suportam a quantidade de chuva, causando assim grandes transtornos. Técnicas e métodos serão estudados para amenizar o problema.

Este trabalho compõe-se de uma revisão bibliográfica sobre um sistema de drenagem e infiltração em obras residenciais, para que se possa elaborar um plano de captação, escoamento e infiltração onde a água seja lançada diretamente no solo abaixo da obra.

Foi realizada, uma análise teórica de trabalhos acadêmicos, artigos, revistas, livros, sites nacionais e internacionais.

Após levantamento e estudo dos dados, foram escolhidos materiais alternativos que podem ser utilizados para montagem de um sistema de infiltração das águas pluviais, por apresentarem características físicas parecidas com o modelo de tanque modular da empresa Atlantis.

O solo presente no local da implantação do sistema foi caracterizado através da análise granulométrica, utilizando a técnica de ensaio de peneiramento, de acordo com as especificações da (ABNT NBR 7181,1984).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 IMPERMEABILIZAÇÃO DAS CIDADES E SUA RELAÇÃO COM CHEIAS

As águas utilizadas pelo homem provem da atmosfera, esse é um ponto inicial de um ciclo fechado. Essa água é encontrada na forma de vapor ou de neve ou gelo ou de líquido. Quando as gotas de água chegam a uma dimensão, precipitam-se em forma de chuva. Da quantidade que atinge o solo, um pouco se infiltra, um pouco se escoam sobre a superfície e parte se evapora, diretamente ou através das plantas. A infiltração é a penetração da água no solo. Quando esse volume de água excede a eficiência de infiltração a água escoam superficialmente. Por sua vez a evaporação é o fenômeno da água que no estado líquido, pode se tornar ao estado gasoso quando, recebe energia do sol ou de outras fontes. É através da evaporação que se mantém a estabilidade do ciclo hidrológico. Estimativas obtidas para os Estados Unidos fazem referência da quantidade total que atinge o solo, 25% chegam aos oceanos no formato de escoamento superficial, quando 75% voltam à atmosfera através da evaporação. Destes 40% irá precipitar-se de modo direto nos oceanos, e 35% mais uma vez sobre o continente, somando a colaboração de 65% decorrente da evaporação das grandes massas líquidas, completando o ciclo. A água que infiltra no solo movimenta por percolação e atinge uma área totalmente saturada, formando o lençol subterrâneo. Esse lençol poderá interceptar um sentido, retornando para a superfície (PINTO, 2015). A figura 1 ilustra o ciclo hidrológico

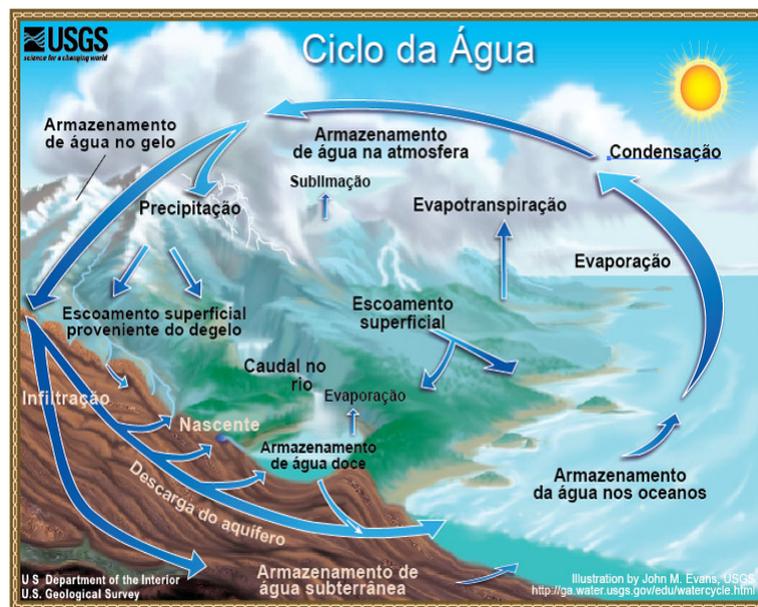


Figura 1: Ciclo hidrológico (USGS, 2016).

O escoamento superficial contém fatores que podem ser de ordem climática, que está relacionada com a precipitação ou a natureza fisiográfica ligada às características da bacia.

Destacam-se entre os fatores climáticos a duração e intensidade da precipitação, o solo atinge a sua capacidade de infiltração mais rápido através da intensidade, que provoca um excesso de precipitação escoada superficialmente. Quanto maior for a duração maior será a oportunidade de escoamento, proporcional a duração. A precipitação antecedente é de fator climático importante, pois o solo que recebe uma precipitação onde houve outra anterior terá maior facilidade de escoamento (VILLELA, 1975).

A área, a forma, a permeabilidade, a capacidade de infiltração e a topografia da bacia são os mais importantes dentre os fatores fisiográficos. A área exerce uma influência essencial, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor volume de água que ela pode captar. A capacidade de infiltração está ligada diretamente a permeabilidade do solo, ou seja, quanto mais permeável o solo, maior a quantidade de água absorvida, diminuindo o excesso de escoamento. Importantes fatores são as obras construídas na bacia, tal como uma barragem que, acumula água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda seu crescimento. Em sentido oposto, pode-se corrigir um rio aumentando a velocidade do escoamento superficial (BACCARO, 1994).

As inundações urbanas são ocasionadas por causa da maior parte das zonas urbanas serem impermeabilizadas, os lixos acumulados com outros detritos nas bocas de lobo e corpos d'água, o que deixam as drenagens das águas pluviais ineficientes, a má gestão ou a falta de um planejamento de drenagem de águas pluviais pelos municípios (CANHOLI, 2005).

Segundo Pinto e Pinheiro (2006, p.9), "Em áreas urbanas são comuns à inundação localizada devido ao estrangulamento do curso d'água por pilares de pontes, adutoras, aterros e rodovias que reduzem a seção de escoamento dos corpos d'água".

As epidemias de algumas moléstias ligadas à contaminação das águas são verificadas sempre que há enchentes urbanas, o que assolam as cidades. A ocorrência de leptospirose, sarampo, e doenças infectocontagiosas em geral, aumentam de uma forma assustadora após as inundações. (PEDROSA, 1996).

Modelos hidrológicos relacionados à drenagem urbana na sua aplicação necessitam-se do conhecimento da área impermeável, condições do escoamento superficial ocasionadas pela ocupação do solo urbano e suas modificações (MAUS, 2007).

A contribuição da água que infiltra no solo recarrega e forma os aquíferos subterrâneos. A redução dos processos de inundações é auxiliada através da infiltração, pois o escoamento superficial será menor quando a área permeável para a infiltração das águas pluviais for maior (MOTA, 1999).

O acréscimo de áreas impermeáveis tem contribuído para o sofrimento da bacia hidrográfica, devido ao progresso demográfico das últimas décadas. De 1975 a 2001 houve uma duplicação das áreas impermeáveis da bacia hidrográfica (1975 – por volta de 12% e 2001- por volta de 27%). São geradas várias consequências através da implantação de áreas urbanas, sendo

a impermeabilização uma das mais diretas, provocando a diminuição da capacidade de infiltração, e tendo como consequência o aumento do escoamento superficial, fator este que tem uma grande influência no acréscimo de inundações no meio urbano. É tido como períodos de retornos¹ para o dimensionamento das redes de drenagem um período de 5 a 10 anos, mas em casos extremos a capacidade de infiltração será menor que a intensidade de precipitação. Tendo assim, os solos permeáveis um comportamento diferente, ficando impermeáveis. No que diz respeito ao dimensionamento das redes de drenagem, normalmente conhecidas como redes de águas pluviais, um fator relevante é o período de retorno a ter em conta, onde as inundações inesperadas são as que mais causam danos, ou seja, as provenientes de adventos extremos (MATOS, 2000).

As cheias são provenientes da ocupação constante do espaço. Na época das chuvas, o rio dispõe de uma área maior para o transporte da água, mas se a cidade ocupa esse espaço, isso acarretará nada mais do que a invasão do volume de água excedida nas áreas urbanas (ALCÂNTARA & AMORIM, 2005).

2.2 TIPOS DE SOLOS

O solo tem suas formações na decomposição das rochas devido às intempéries. Seja o intemperismo químico ou físico são gerados sedimentos que podem ser carregados por agentes da natureza, como a água, e dispostos em locais afastados de sua origem. Com o passar dos anos, podem ocorrer alterações na composição original desses sedimentos, formando assim outros tipos de solos (VARGAS, 1977).

O solo pode ser classificado em três tipos básicos: arenoso, siltoso e argiloso. Como mostra a figura 2.

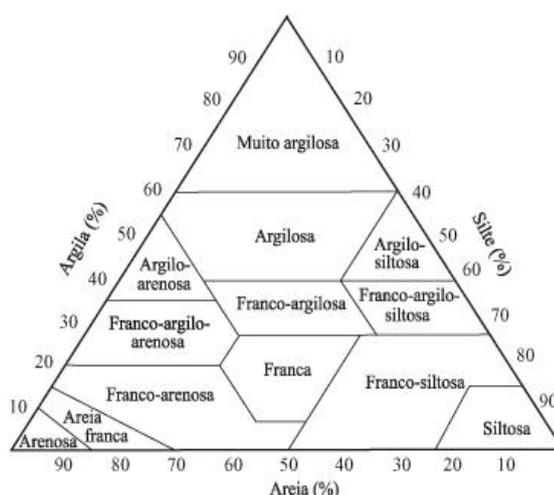


Figura 2: Tipos de solos de acordo com sua composição em porcentagem de areia-silte-argila. (USDA,1993).

¹ É o intervalo de tempo estimado da ocorrência de um determinado evento.

2.2.1 Arenosos

De origem similar aos dos pedregulhos as areias são ásperas ao tato e encontrando-se livres de finos, não se reduzem ao secar, não manifestam plasticidade e entendem-se, quase instantaneamente ao serem carregadas (VARGAS, 1977).

2.2.2 Siltoso

Solo de grânulos finos que demonstram pouca ou nenhuma plasticidade. Um torrão de silte seco ao ar pode se desfazer com bastante facilidade (VARGAS, 1977).

2.2.3 Argiloso

Possui grânulos muito finos apresentando características distintas de plasticidade e alta resistência, quando secas, estabelecem a fração mais ativa dos solos. Quando secas e desagregadas, dão uma impressão de farinha ao tato, e quando úmidas são lisas (VARGAS, 1977).

2.3 ALTERNATIVA UTILIZADA PARA DIMINUIR A IMPERMEABILIDADE DO SOLO

2.3.1 Pavimentos de concreto permeável

Destinados a estacionamentos, calçadas, pátios comerciais e residenciais são compostos por peças permeáveis drenantes de concreto poroso, constituídos por peças intertravadas de juntas alargadas em concreto, atribuídos a vias de tráfego leve e médio e a pátios industriais. Permitindo a infiltração da água da chuva, são planejados para serem permeáveis. Possuindo espaços livres na sua estrutura, considerando não só o revestimento, mas também as camadas inferiores de apoio e drenagem, os pavimentos permeáveis drenantes em concreto poroso permite assim a passagem da água. Utilizando agregados com pouca ou sem nenhuma quantidade de finos, os concretos permeáveis possuem assim poros onde a água passa. Na construção do sistema é empregadas peças de concreto poroso já nos de concreto convencional empregasse juntas alargadas (MARCHIONI & SILVA, 2012).

2.3.2 Concretos permeáveis

A última etapa de um sistema de drenagem é o concreto permeável. Uma tecnologia ainda nova no Brasil, o material vem sendo adquirida por construtores para atender as exigências das legislações municipais em relação à permeabilidade e infiltração dos terrenos. Isso é possível porque o concreto permeável deixa que a água das chuvas passe por ele e armazenam-se

nas camadas inferiores, base e sub-base, até ser transportada ao lençol freático através do subleito ou então levada ao sistema de drenagem da cidade. Tem-se uma área pronta para absorver precipitações, sem que se perca espaço de pavimentação, prevenindo assim enchentes e abastecendo os aquíferos subterrâneos (MAZZONETTO, 2011).

O concreto poroso se diferencia do concreto convencional por conter maior índice de vazios. O concreto convencional é compacto e possui propriedades que o faz enrijecer ao longo dos anos, tornando-o assim mais resistente, já o permeável possui outra característica, ele é constituído a partir de material granular quase todos dos mesmos tamanhos, com a granulometria igual. Quando usado material do mesmo tamanho, é gerado vazios devido ao não preenchimento total, há também um grande número de vazios quando se usa apenas a areia grossa (MAZZONETTO, 2011).

A variação da quantidade de pedra, areia, cimento e água, serão de acordo com a resistência que se busca adquirir no concreto. Quão maior for à resistência desejada menor será a permeabilidade. Um maior volume de vazios é necessário para que se tenha uma maior permeabilidade, havendo assim menos resistência. Devido a isso existem limitações na aplicação do sistema de drenagem com concreto permeável. Sendo mais indicado em locais onde há menor solicitação de cargas, onde a resistência é menos exigida, como quadras poliesportivas, ciclovias e estacionamentos, a restrição de cargas é de tráfego leve (MAZZONETTO, 2011).

2.4 SISTEMA DE BIORETENÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

A água da chuva é captada pelo sistema antes que a mesma seja lançada diretamente em rios ou córregos de uma cidade, para que possa previamente ser tratada e infiltrar no solo com volume e velocidade adequados, diminuindo as inundações (ALISSON, 2016).

O sistema de biorretenção é constituído por camadas sobrepostas de grama, areia, brita e manta geotêxtil, que possibilita a retenção de poluentes e detenção temporária de volumes excessivos de água de chuva que escorra dentro deles, e é instalado em áreas onde ocorrem os alagamentos. As estruturas funcionam como um reservatório para absorção da água da chuva, retendo-a por um período determinado de tempo de modo que possa ser infiltrada ou absorvida naturalmente pelo solo. Reduzindo dessa forma o volume de água de chuva que esco superficialmente, e retarda os picos de cheias em bacias ou microbacias, como córregos e rios dessas regiões urbanizadas. A água que é recebida, ajuda no abastecimento do lençol freático sem ter que passar por tubulações até chegar ao seu destino final, possibilitando a retenção e o tratamento da água de chuva que seria desperdiçada (ALISSON, 2016).

Evitando problemas com erosões, o sistema conta com uma camada superficial de vegetação que retém a água sem maiores problemas com o solo, a vegetação também auxilia na retenção de poluentes carregados pela água da chuva, que trabalha em conjunto com as camadas de areia, brita e manta geotêxtil. Ao passar por essas várias camadas, a água é filtrada tornando

cada vez mais pura antes de chegar ao lençol freático (ALISSON, 2016).

2.5 PARTES INTEGRANTES DO SISTEMA

O sistema de infiltração recolhe o escoamento de chuva dos telhados e direciona-o no solo onde a água infiltra lentamente. Esse sistema consiste em calhas para recolher a água do telhado, tubos de diâmetro mínimo de 70 mm norma (NBR 10844, 1989), uma caixa de captura para retirar o lixo partículas finas, trincheiras subterrâneas que armazenam a água, enquanto absorve lentamente para o solo e uma porta de observação para auxílio na manutenção. Quando a trincheira enche com água durante uma chuva, o excesso flui por um ladrão direcionado ao coletor público pluvial. Um sistema de armazenamento e infiltração diminui consideravelmente o volume de escoamento superficial que seria lançado na rua, minimizando o transporte de diversos poluentes e aumentando a quantidade de água que entra no solo para recarregar as águas subterrâneas (MICHELL & LESIKAR, 2005). A figura 3 ilustra um exemplo do sistema.

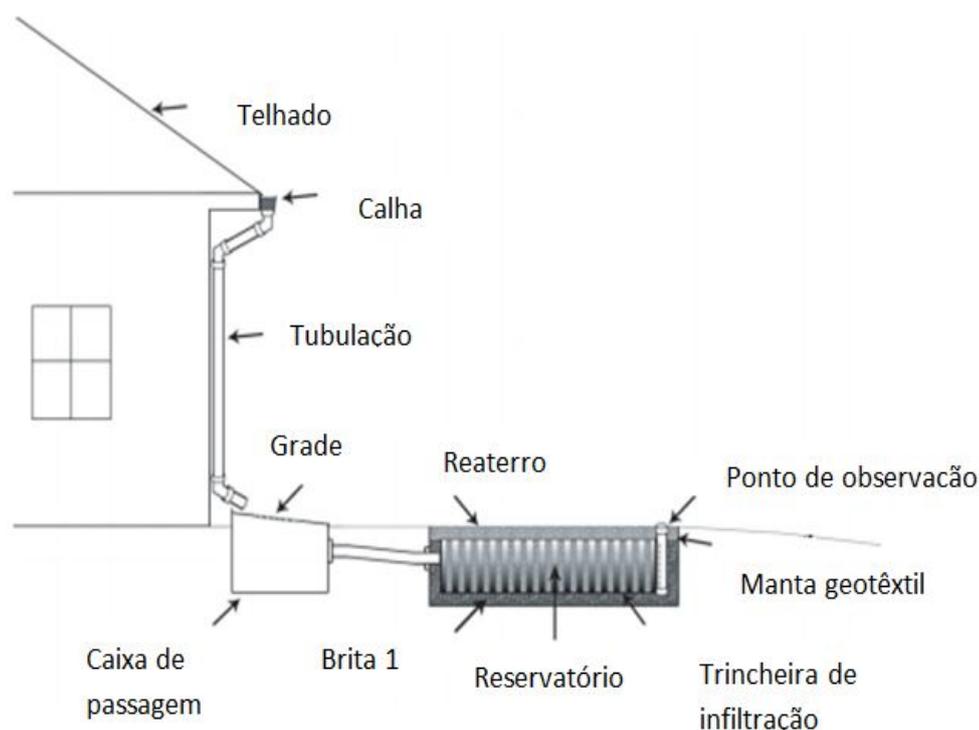


Figura 3: Partes integrantes de um sistema de infiltração de água da chuva. (MECHELL & LESIKAR, 2005).

2.6 CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DA ÁGUA

Em seu estado natural, a terra pode absorver muito da chuva que cai. A água absorvida no solo ajuda a manter a recarga subterrânea. O crescimento populacional urbano está forçando a retirada das águas subterrâneas, usando a água mais rápido do que ele pode ser reabastecido. À

medida que o tempo passa o desenvolvimento acelera trazendo novas construções. O problema piora, pois abrange grande parte do solo com superfícies impermeáveis. A água da chuva que cai em estacionamentos, prédios calhas e estradas não são absorvidos pelo solo. Em vez disso essa água escoar superficialmente pelas vias indo para bueiros, córregos e rios aumentando as inundações urbanas (MICHELL & LESIKAR, 2005). A tabela 1 mostra a quantidade de água de chuva captada em 1 m^2 .

Tabela 1: Volume de água da chuva captada em 1 m^2 .

Quantidade de Chuva	Volume de Chuva (Litros)	Volume de Chuva (m^3)
1 mm	1	0,001
2 mm	2	0,002
3 mm	3	0,003

FONTE: MICHELL & LESIKAR (2005).

Além da inundação o excesso de escoamento tem propriedades que podem prejudicar o meio ambiente. A água da chuva é aquecida pelo pavimento e telhado em que ela cai, quando esta água aquecida entra em contato com um córrego ou rio, eleva a temperatura da água no fluxo e acelera o crescimento de bactérias. Isso por sua vez, esgota a quantidade de oxigênio da água. A redução de oxigênio pode matar alguns peixes e outros organismos aquáticos. O escoamento também carrega muitos poluentes. A água que flui sobre estradas e estacionamentos transporta óleos, metais pesados e produtos químicos, que vazam dos veículos incluindo resíduos animais. Estes poluentes prejudicam a vida aquática. A água é um recurso valioso e todos os esforços devem ser feitos para conservar e proteger (MICHELL & LESIKAR, 2005).

2.7 VIABILIDADES DE UM SISTEMA DE INFILTRAÇÃO

É possível instalar um dispositivo de armazenamento e infiltração em muitas casas e empresas bem como estacionamentos. Na maioria das edificações o sistema pode ser localizado relativamente perto do edifício, isso dependendo do tipo de solo. A localização do sistema e sua proximidade das estruturas serão discutidas nas próximas seções.

Existe locais onde um sistema de armazenamento e infiltração no solo não deve ser instalado, como mostra a figura 4. Exemplo, a instalação em um solo argiloso não é uma boa ideia, por que a argila incha quando molhada e contrai quando seca. Isso pode colocar pressão sobre fundações e causar grandes problemas. O sistema não deve ser instalado onde o solo inclina em direção à construção (MECHELL & LESIKAR).



Figura 4: Local onde não deve ser instalado o sistema. Acervo dos autores.

A água em seu movimento subterrâneo não pode ser presa pela fundação, áreas sem inclinação pode ser usadas se o sistema for projetado adequadamente. No entanto, em terrenos que se inclinam abruptamente não é viável a instalação de tal sistema devido à profundidade de escavação que seria necessário. Instalar o sistema em uma paisagem já existente não é recomendado por causa dos danos, e ter um retrabalho para refazer a paisagem. É melhor a instalação antes de qualquer paisagismo (MECHELL & LESIKAR).

2.8 A SELEÇÃO DO LOCAL

Ao escolher um local para a instalação do sistema de infiltração no solo considerar, a distância de separação, a geografia, topografia, vegetação, movimentação da água e características do solo (MECHELL & LESIKAR).

2.8.1 Localização geográfica

Para uma boa localização geográfica, é determinante o clima e as precipitações padrões. Quase todas as localizações podem ser adequadas para um armazenamento e infiltração das águas pluviais no solo, se o sistema for devidamente projetado (MECHELL & LESIKAR).

2.8.2 Topografia

A topografia é importante, pois as infiltrações da água da chuva através do sistema são geralmente alimentadas por gravidade. Assim dependendo da declividade do terreno deve ser instalado longe da construção. Caso contrário, graves problemas de fundação podem ocorrer se o solo perto da obra for periodicamente saturado (MECHELL & LESIKAR).

2.8.3 Cobertura vegetal

Não deve haver cobertura vegetal sobre o sistema de infiltração (trincheira), salvo gramas de raízes pequenas, para ajudar a remover a umidade do solo e evitar erosão. No entanto não é aconselhável ter plantas lenhosas ou árvores que crescem diretamente sobre ou perto da infiltração (trincheiras), pois suas raízes são atraídas á água e pode obstruir a tubulação e todo o sistema (MECHELL & LESIKAR).

2.9 DISTÂNCIAS DE SEPARAÇÃO

O sistema deve ter a distância correta a partir de outros objetos de fundação, para proteger a integridade estrutural dos edifícios próximos e prevenir possíveis problemas de contaminação da água. A tabela 2 mostra as distâncias de separação necessárias (TCEQ, 2005).

Tabela 2: Distância entre o sistema de infiltração de água da chuva no solo e outros recursos do local.

Estrutura	Distância do sistema (m)
Poços de água públicos	45
Linhas de abastecimento público de água	3
Poços e cisternas subterrâneas	30
Linhas de água privadas	3
Poços	15
Riachos, lagoas, lagos e rios (medido a partir da elevação normal e nível de água); corpos de água salgada (apenas maré alta)	23
Fundações, edificações, benfeitorias superfície, linhas de propriedade, servidões, piscinas e outras estruturas	1,5
Encostas onde podem ocorrer infiltrações	8

FONTE: MICHELL & LESIKAR (2005).

A distância adequada entre a trincheira de infiltração e as estruturas depende do tipo de solo, da umidade do solo e da hidrologia do solo no local. Em áreas onde a infiltração é rápida (solos arenosos) a umidade é transportada para longe da fundação com facilidade. Nessa situação as trincheiras de infiltração podem estar próximas da estrutura no mínimo de 1,50 m. Em áreas de solo com maior teor de argila, uma distância mínima de 8,0 m será necessária (FAST, 2002).

2.10 MOVIMENTO DA ÁGUA E CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Para projetar com precisão um sistema de infiltração, deve-se conhecer a direção da água, como também as características do solo no local (EPA, 1999).

2.10.1 Textura do solo

A textura do solo afeta a permeabilidade, e o perfil do solo influencia no movimento da água. A classe estrutural do solo é determinada pelas dimensões das partículas inorgânicas, areia, silte e argila.

Areias contêm partículas muito grossas, enquanto silte e argila têm partículas muito finas. Os solos arenosos são permeáveis, o que significa que a água se desloca através deles rapidamente. Solos com muita argila restringe o movimento da água. Solos aceitáveis para instalação de um dispositivo de armazenamento e infiltração incluem areia, areia franca, arenosa, franco-argilo-arenosa, argila-arenosa e franco-arenosa. Todos os outros solos são considerados impermeáveis e deverão ser evitados (EPA, 1999).

Também é importante conhecer o perfil do solo na área em que pretende instalar o sistema de infiltração. Uma seção transversal do solo pode mostrar camadas de diferentes texturas. A camada mais restritiva irá determinar a quantidade de água que vai infiltrar no solo. A figura 5 ilustra os horizontes do solo.

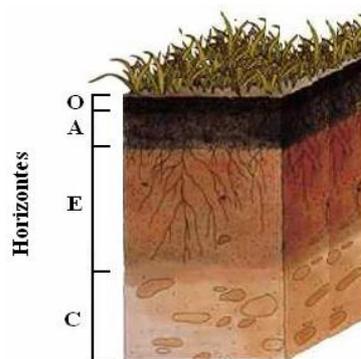


Figura 5: Horizontes dos solos (ARAGUAIA, 2016).

Para certificar se o local é adequado, cavar um buraco de observação 0,60 m mais profundo do que a parte inferior do sistema proposto. Em seguida, analisar os diferentes horizontes do perfil do solo e anotar todas as camadas impermeáveis e quaisquer cores cinzentas do solo que pode indicar a presença de águas subterrâneas (MECHELL & LESIKAR). Se alguma dificuldade for encontrada a melhor solução é contratar uma empresa ou profissional para fazer uma análise do solo no local em que deseja a instalação.

2.11 PROJETOS DO SISTEMA

2.11.1 Definições

Segundo a NBR 10844 (1989), que se trata de Instalações Prediais de Águas Pluviais, as definições relacionadas ao projeto são:

Altura pluviométrica é o volume de água precipitada por unidade de área horizontal.

Área de contribuição é a soma das áreas das superfícies que interceptam a chuva, e conduzem as águas para determinado ponto da instalação.

Calha é um canal que recolhe a água de coberturas, terraços e similares e a conduz a um ponto de destino.

Condutor vertical também conhecido como tubulação vertical destinada a recolher águas de calhas, coberturas, terraços e similares e conduzi-las até a parte inferior do edifício.

Diâmetro nominal (DN) serve para classificar, em dimensões, os elementos de tubulações (tubos, conexões, condutores, calhas, bocais, etc.), e que corresponde aproximadamente ao diâmetro interno da tubulação em milímetros. O (DN) não deve ser objeto de medição nem ser utilizado para fins de cálculos. Duração de precipitação é um intervalo de tempo de referência para a determinação de intensidades pluviométricas, que por sua vez é um quociente entre a altura pluviométrica precipitada num intervalo de tempo e este intervalo.

Tempo de concentração é período de tempo decorrido entre o início da chuva e o momento em que toda a área de contribuição passa a contribuir para determinada seção transversal de um condutor ou calha.

Vazão de projeto tem referência para o dimensionamento de condutores e calhas.

A figura 6 ilustra as fórmulas para cálculo de superfícies, horizontais, inclinada e plana vertical única.

- Área de contribuição (A)

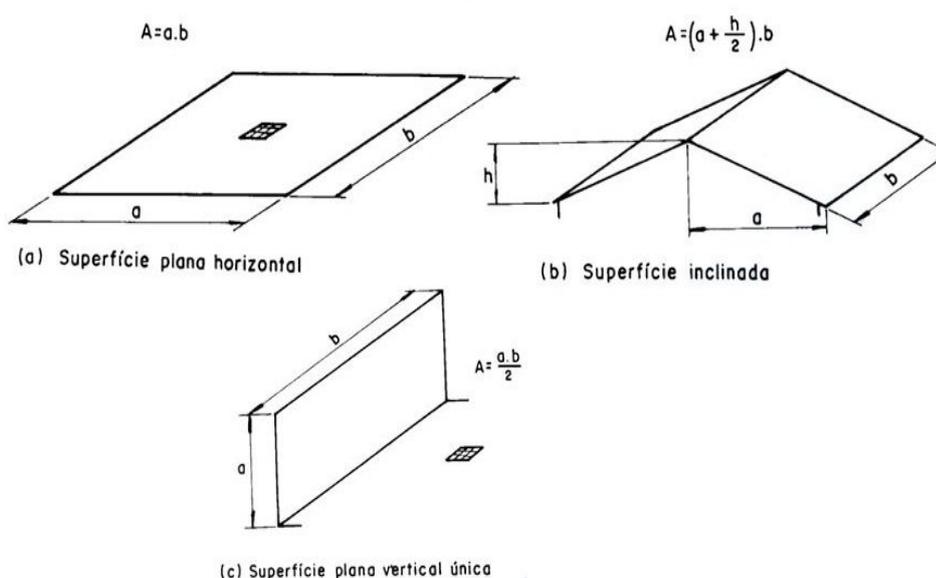


Figura 6: Indicação para cálculo de área de contribuição (NBR 10844, 1989).

2.11.2 Área de captação

A área de influência para qualquer tipo de chuva consiste tipicamente em coletar a água da chuva numa superfície impermeável. O tamanho dessa área afeta o volume de escoamento que pode ser coletado. Embora dependa dos materiais da cobertura, cerca de 75 a 95 por cento da chuva que cai pode ser coletada a partir de um telhado comum com inclinação normal (PERSYN, 2004). A Figura 7 mostra a relação entre a área de captação e o volume de escoamento que pode ser recolhido a partir de uma chuva de 25 mm.

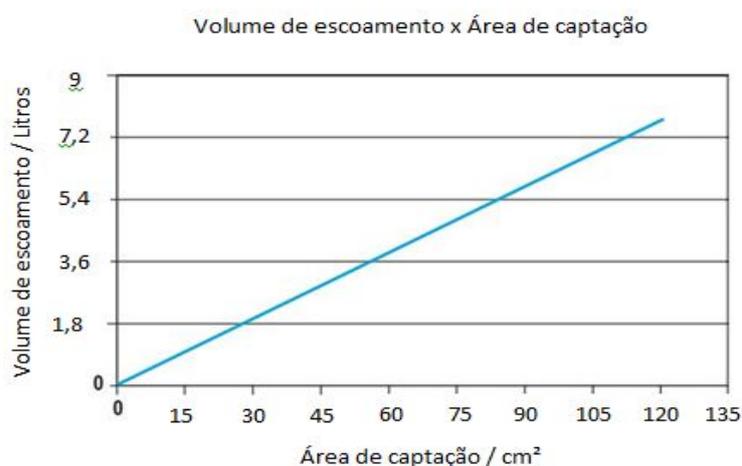


Figura 7: Área de captação e o volume de escoamento (MECHELL & LESIKAR, 2005).

2.12 MATERIAIS

2.12.1 Calhas e tubulações

Calhas convencionais são instaladas na cobertura de captação, recolhem a água da chuva direcionando para a tubulação e fluindo ao próximo componente de coleta (caixa de passagem). Esse escoamento pode conter partículas finas, resíduos e folhas. Usualmente é necessário instalar um separador de folha para retirar esses resíduos (figura 8). A caixa de passagem é o primeiro componente específico para armazenamento da água de chuva antes de ser direcionada a trincheira de infiltração. Deve ser projetado para que o fluxo de água escoe facilmente pelo ladrão quando o sistema encontra-se cheio. A caixa de passagem deve ter uma grelha removível que permite a entrada da água enquanto filtra detritos grandes.

As calhas devem ser feitas de chapas de aço galvanizado (NBR 7005, NBR 6663), folhas-de-flandres (NBR 6647), chapas de cobre (NBR 6184), aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto ou alvenaria. Sua inclinação deve ser uniforme, com valor mínimo de 0,5%. Nos condutores verticais, devem ser empregados tubos e conexões de ferro fundido (NBR 8161), fibrocimento, PVC rígido (NBR 10843, NBR 5680), aço galvanizado (NBR

5580, NBR 5885), cobre, chapas de aço galvanizado (NBR 6663, NBR 7005), folhas-de-flandres (NBR 6647), chapas de cobre (NBR 6184), aço inoxidável, alumínio ou fibra de vidro. Os condutores verticais devem ser projetados, sempre que possível, em uma só prumada. Quando houver necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção. Já para tubulações enterradas em locais sujeitos a cargas móveis na superfície do solo e do reaterro, observar as recomendações específicas relativas ao assunto (NBR 10844, 1989). O diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70 mm (NBR 10844, 1989).



Figura 8: Separador de folha (FORTLEV, 2016).

2.13 TIPOS DE SISTEMAS DE INFILTRAÇÃO

2.13.1 Trincheiras

A água da chuva escoada da caixa de passagem para a trincheira onde é alojada até que ela se infiltre no solo circundante. Estas trincheiras podem ser construídas em várias configurações utilizando diferentes materiais (MECHELL & LESIKAR).

2.13.2 Trincheira cascalho

Uma trincheira cascalho com tubo perfurado é um dos métodos mais comuns utilizados pela indústria de sistema de infiltração das águas pluviais. É simples e fácil de construir, a tubulação transporta a água para baixo da trincheira e é armazenada no cascalho poroso. A figura 9 mostra uma vala de cascalho com sistema de tubulação perfurada, deve ser utilizado um agregado de cascalho ou brita de 2,50 a 7,50 cm de diâmetro e conter espaços vazios de 30 a 35 por cento. Uma camada de cascalho de pelo menos 15 cm de profundidade deve ser colocada ao longo do fundo da vala. O tubo perfurado deve estar localizado no meio da escavação e deve ser

coberto no mínimo com 5 cm de cascalho. Utilizar uma manta geotêxtil para cobrir e separar o cascalho do solo evitando assim entupimento. A trincheira deve ser tampada com no mínimo 15 cm de solo (MICHELL & LESIKAR, 2005).

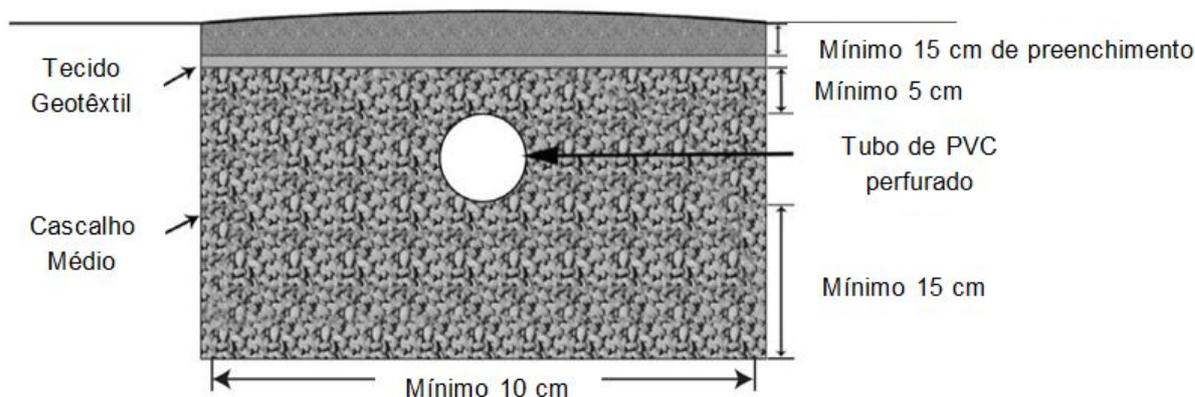


Figura 9: Vala de cascalho com sistema de tubulação perfurada (MECHELL & LESIKAR, 2005).

2.13.3 Câmara de lixiviação

Utilizando o mesmo tamanho de cascalho das trincheiras de cascalho entre 2,50 e 7,50 cm, a câmara de lixiviação é outra boa opção para um sistema de infiltração das águas pluviais. Deve ser colocado no fundo da vala 15 cm de cascalho. A trincheira por sua vez deve ser 15 cm mais larga do que a câmara e são colocadas no meio da escavação. O cascalho enche o topo da câmara que em seguida é coberta com uma manta geotêxtil, a trincheira é preenchida com o solo natural como observado na figura 10 (CULTEC, 2016).

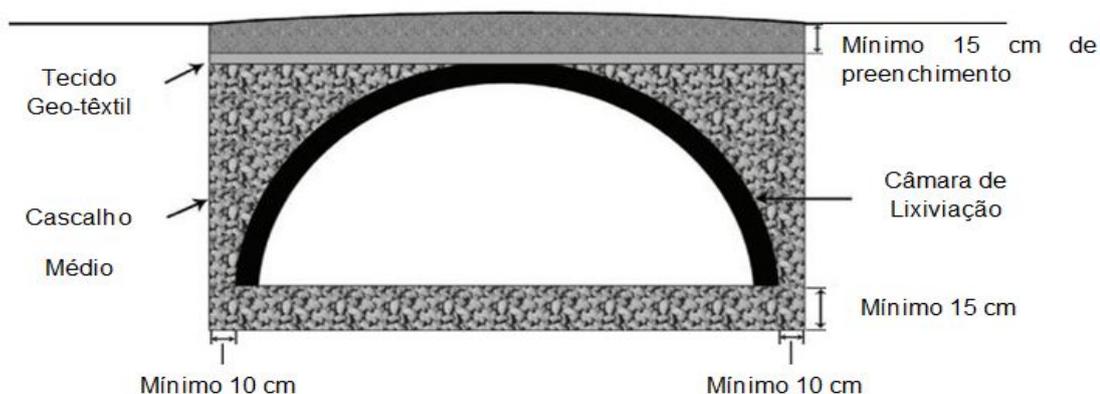


Figura 10: Câmara de Lixiviação (MECHELL & LESIKAR, 2005).

2.13.4 Sistema de tanque modular

O desempenho do sistema de tanque modular substitui as trincheiras. O sistema fornece um espaço de vazios com mais de 90% em comparação aos 20% em trincheiras cascalho. Conseqüentemente, com um menor espaço de instalação o sistema atinge a mesma capacidade de armazenamento que uma trincheira cascalho. Isso economiza tempo e dinheiro em custos de instalação em obras. O design leve do sistema de tanque modular (Figura 11) também torna a instalação mais rápida, segura e barata. Nenhum acúmulo de sedimentos ocorre no sistema, ao contrário do entupimento que é característico nas trincheiras.

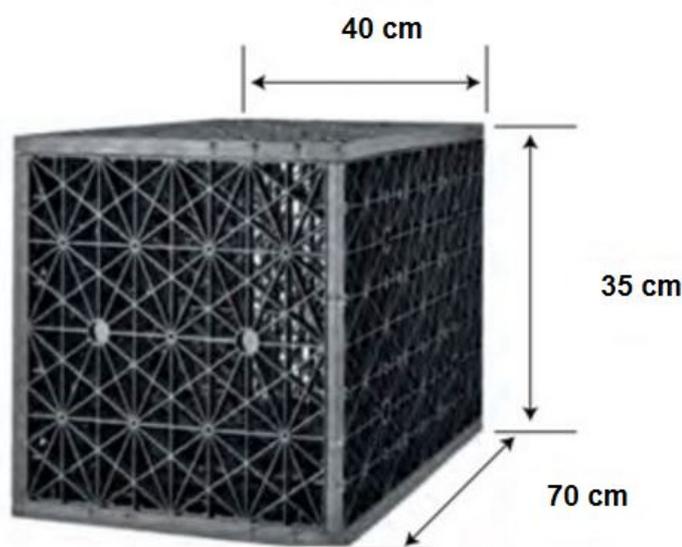


Figura 11: Tanque modular (ATLANTIS, 2008).

2.14 INSTALAÇÕES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Estas devem ser projetadas de modo a obedecer às seguintes exigências: recolher e conduzir a vazão de projeto até locais permitidos pelos dispositivos legais, ser estanques, permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto no interior da instalação, absorver os esforços provocados pelas variações térmicas a que estão submetidas, quando passivas de choques mecânicos, ser constituídas de materiais resistentes a estes choques, nos componentes expostos, utilizar materiais resistentes às intempéries, nos componentes em contato com outros materiais de construção, utilizar materiais compatíveis, não provocar ruídos excessivos, resistir às pressões a que podem estar sujeitas, ser fixadas de maneira a assegurar resistência e durabilidade. As águas pluviais não devem ser lançadas em redes de esgoto usadas apenas para águas residuais (despejos, líquidos domésticos ou industriais), (ABNT NBR 9814,1987). A instalação predial de águas pluviais se destina exclusivamente ao recolhimento e condução das águas pluviais, não se admitindo quaisquer interligações com outras instalações prediais (ABNT NBR 10844, 1989).

Não deve ser instalado esse tipo de sistema de infiltração e armazenamento durante períodos de chuva pesada. Quando o solo está molhado ou sob áreas de elevadas cargas utilizar sistemas de infiltração tipo tanque modular que podem ser montadas de acordo com a necessidade do local. Assim o solo não será compactado diminuindo a capacidade de transportar água. A instalação adequada é fundamental para o bom funcionamento e vida útil do sistema. O fundo da vala deve estar nivelado, isso irá assegurar que a água não retorne antes que a câmara de armazenamento esteja completa. O aterro com solo sobre as trincheiras deve ser ligeiramente moderado, para permitir a sedimentação e assegurar que a estanqueidade não ocorra (MECHELL & LESIKAR).

2.15 MANUTENÇÃO

A operação e manutenção adequada são importantes para o desempenho do sistema, em longo prazo. Limpezas periódicas da caixa de passagem e tubulações se fazem necessário caso contrario a tela pode ficar obstruída e restringir o fluxo da água. A grelha da caixa de passagem deve ser removível para que possa ser limpa facilmente. Todos os materiais e detritos flutuantes devem ser removidos. Uma vez que o projeto for concluído, não deve haver tráfego de veículos em qualquer parte do sistema, salvo sistema de tanque modular. Grandes espaços vazios no solo diminuem a carga que o solo pode suportar. Tráfego de veículos pode aumentar a compactação do solo e até mesmo causar desmoronamentos. A porta de controle deve ser verificada regularmente para garantir que a água está sendo infiltrada no solo e não há estanqueidade no sistema após longos períodos de chuva. Monitorar significa verificar todos os componentes para garantir que estão funcionando corretamente conforme o projeto. Limpar periodicamente o telhado e a caixa de passagem impedirá que folhas e outros resíduos obstrua o sistema, isso irá assegurar a vida longa ao sistema (MECHELL & LESIKAR).

3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

3.1 EXPERIMENTO DE UM SISTEMA DE INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

No decorrer desse trabalho foi estudada a possibilidade de adaptação em nossa região de um sistema de infiltração parcial ou total da água da chuva. Dessa forma, foi feito um experimento para observar o comportamento de um solo de Caratinga-MG, em relação a um sistema de infiltração de água montado com materiais alternativos.

3.2 LOCAL ESCOLHIDO

O local escolhido foi o quintal de uma casa localizada na Rua José Belegard nº 174, Centro, Caratinga-MG. A escolha deste local se deu devido ao mesmo possuir espaço que permitia a distância mínima necessária da fundação da casa. Neste local não havia ocorrido precipitação pelo menos no mês anterior, o que proporcionou um solo seco com a maior capacidade de retenção de água possível.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado no procedimento do desenvolvimento do experimento foi caracterizado através da análise granulométrica (ABNT NBR 7181, 1984), utilizando a técnica de peneiramento, feita no Laboratório de Materiais de Construção, da Rede de Ensino DOCTUM de Caratinga-MG, com o auxílio do Professor Leonardo Sathler, onde foi coletada uma amostra do solo e levada para o laboratório, colocado na estufa por um período de 24 horas para tirar toda a umidade. No dia seguinte, o solo foi retirado da estufa e separado de todas as impurezas, tais como folhas, gravetos e pedras, para assim poder quebrar todos os seus grãos através de um almofariz e mão de grau, deixando os mais finos possíveis, o próximo passo foi separar 1 kg do material seco e dispor as peneiras em ordem de abertura: 0,42 mm, 0,297 mm, 0,149 mm, 0,074 mm, colocando o solo no peneirador para vibrar por um período de 3 minutos, depois deste processo pesou-se o material retido em cada peneira, na tabela 3 observa-se os valores encontrados.

Tabela 3: Porcentagem do material retido em cada peneira.

Peneira	Abertura (mm)	Material Retido(%)
40	0,42	77,2
50	0,297	4,3
100	0,149	11,9
200	0,074	6,4

FONTE: ACERVO DOS AUTORES (2016).

De acordo com a (ABNT NBR 6502, 1995), por ter retido 77,2% na peneira de número 40, o solo possui características arenosas.

3.4 MATERIAIS UTILIZADOS

Para montagem do sistema simulando as estruturas utilizadas em outros países, foram utilizados os seguintes materiais:

- 2 caixas do tipo grade para vasilhame de cerveja, totalizando um volume de $0,105 m^3$
- 3 sacos de brita 3/4.
- $0,3 m^2$ de tecido TNT.
- $0,3 m^2$ de tecido de algodão.

Inicialmente foi feito uma vala (figura 12) escavada no solo com medidas de 80 x 58 x 55 (cm).



Figura 12: Escavação do buraco. Acervo dos autores.

Logo em seguida, foi feito o nivelamento do fundo com uma camada de 5 cm de brita 3/4, como pode ser observado na figura 13. Essa brita é importante para deixar o solo mais estável no fundo da estrutura, mas permitindo a percolação de água.



Figura 13: Nivelamento do fundo com brita 3/4. Acervo dos autores.

Após o nivelamento, as duas caixas foram posicionadas (Figura 14) e adicionados 5 cm de britas 3/4 nas laterais. A escolha deste tipo de caixa se deu por estas apresentarem estrutura bem parecida com de tanque modular, representada na figura 11.



Figura 14: Caixas posicionadas. Acervo dos autores.

Assim, como os sistemas de infiltração das águas pluviais utilizados em outros países, apresentam em sua parte superior a aparência do local onde se encontram, e também a capacidade de absorção de água, foi feito o revestimento da parte superior das caixas com o tecido de algodão para que a camada de 5 cm de brita 3/4 colocada por cima não caísse dentro do reservatório (Figura 15).



Figura 15: Revestimento da parte superior, com tecido de algodão e britas 3/4. Acervo dos autores.

Logo em seguida, o tecido de TNT foi posicionado acima da brita simulando a manta geotêxtil, para cobrir com o solo natural (Figura 16).



Figura 16: Reaterro com o solo. Acervo dos autores

Para Finalizar uma camada de vegetação foi colocada por cima do solo para retenção das impurezas e para evitar a erosão do solo. Na lateral, pode ser observada uma abertura para entrada da precipitação (Figura 17).



Figura 17: Acabamento do sistema de infiltração das águas pluviais. Acervo dos autores.

3.5 TESTE DE DRENAGEM

Foram divididas em duas etapas para demonstrar dois tipos de chuva, uma amena e outra torrencial.

Nesse primeiro experimento foram lançados 600 litros de água lentamente no sistema, através de uma mangueira que possuía uma vazão de 0,1 litros por segundo.

Na segunda etapa realizada uma semana depois, foi providenciado um reservatório de água, no qual foi utilizada uma caixa d'água de 500 litros. A água foi retirada com um balde de 18 litros onde foi lançada no sistema a cada 10 segundos, foram lançados 400 litros para o mesmo saturar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira etapa foram lançados 600 litros de água, e observado que o sistema não encheu até o seu volume total, pois à medida que a água era lançada no sistema o solo infiltrava sua totalidade.

Já na segunda etapa foram lançados 400 litros para que o sistema saturasse e enchesse a sua capacidade que é de 105 litros, onde levou 6 minutos para infiltrar os 105 litros de sua capacidade.

Após isso foi lançado mais 185 litros, para que o sistema saturasse novamente, onde levou 30 minutos para o solo absorver a sua capacidade de 105 litros.

Observa-se que à medida que a água vai sendo lançada e infiltrada no solo a sua velocidade de infiltração vai diminuindo.

O sistema de infiltração das águas pluviais produzido com materiais de fácil acesso se mostrou eficiente para absorção de água, sendo capaz de absorver 585 litros de água no período de 40 minutos.

- 2 caixas do tipo grade para vasilhame de cerveja = R\$ 40,00 reais.
- 0,1 m^3 de britas 3/4 = R\$ 10,00 reais.
- 0,3 m^2 de tecido TNT = R\$ 2,00 reais.
- 0,3 m^2 de tecido de algodão = R\$ 5,00 reais.
- Mão de obra = R\$ 50 reais.

Total = R\$107,00 reais

Devido ao relevo, ao tamanho dos terrenos das casas e às distâncias mínimas necessárias de algumas estruturas, o sistema de infiltração das águas pluviais não seria adequado para ser implantado em todas as áreas da cidade de Caratinga-MG. Pois, sua implantação em locais com alta declividade e muito perto da estrutura poderia ser causa de desmoronamentos em períodos de precipitação elevadas.

A utilização desses sistemas de infiltração das águas pluviais de água além de ajudar a repor a água do lençol freático também pode proporcionar ganho financeiro, pois, quando bem dimensionadas, essas áreas de infiltração, como trincheiras, podem proporcionar redução nas

dimensões da rede de drenagem à jusante proporcionando diminuição nos custos dos sistemas de drenagem (SOUSA, 2012).

As melhores práticas de manejo das águas de chuva, não podem ser consideradas substituídas imediatas aos métodos convencionais de drenagem, mas, inicialmente, como complementares e integradas às formas tradicionais. Para atingir essa mudança de paradigma, é necessária uma etapa de experimentação das melhores práticas de manejo das águas de chuva, não mais como protótipos, mas em contextos urbanos reais, onde poderão existir êxitos ou falhas, assim como em qualquer tecnologia emergente e, a partir dessas iniciativas, haver uma evolução de forma contínua até adquirirem o status de estratégia prioritária para manejo das águas de chuva (MOURA, 2013).

Quanto ao ganho obtido pelo dono da propriedade, à medida que pelo menos parte da água é destinada ao sistema de infiltração, podem ser evitados problemas de grandes escoamentos nas áreas externas da casa, assim como possíveis buracos e voçorocas decorrentes do curso da precipitação após saída da calha.

Vendo os resultados obtidos no estudo feito, sugere-se que se faça uma análise de áreas que possuem uma grande quantidade de solo impermeabilizado, como estacionamentos, pátios de indústrias, ruas de condomínios pavimentadas, áreas públicas abertas entre outras áreas impermeabilizadas, para que se estude o quanto essas áreas impermeabilizadas contribuem para o escoamento superficial e qual método seria ideal para que se garanta a infiltração correspondente no local analisado.

5 CONCLUSÃO

Nos dias atuais a importância que se dá à água é clara, desperdiçar esse recurso ou simplesmente ignorar significa um enorme prejuízo a todo eco sistema.

Pensar no conjunto é uma boa opção para deixar de responsabilizar os órgãos governamentais e trazer o problema para cada indivíduo. A população em geral quase não tem ideia sobre a origem da água que chega a suas casas. Só dão valor quando esse recurso se faz escasso, e muitas vezes ouvimos falar sobre economizar, preservar e reutilizar, mas pouco fazemos para amenizar a falta desse bem precioso.

No decorrer da pesquisa foi possível perceber diversos meios de retornar a água para o lençol freático, muitos deles de simples aplicação. Analisando obras em outros países percebemos que a água da chuva não era lançada na rua indo para bueiros, ela era canalizada para um sistema que, encaminhava de infiltra-la diretamente no solo. Sendo assim por que não estudar um meio de adaptar para a realidade de nossa região, e dessa forma minimizar o acúmulo de água nas partes baixas das cidades.

A probabilidade, de projetar um sistema que pode armazenar certa quantidade de água, e encarregar-se de infiltra-la diretamente no solo, é eminente. Mas temos que avaliar algumas questões importantes como, tipo de solo, área a ser captada, afastamento das fundações e precipitação da região.

De acordo com a precipitação da região de Caratinga - MG foi elaborado um sistema utilizando materiais disponíveis e de baixo custo. O experimento que projetamos, mostrou-se muito eficiente, com o solo que possui características arenosas em uma área de cobertura de uma residência popular. Esse sistema apesar de pequeno absorveu para o lençol 585 litros de água em um tempo de 40 minutos, lembrando que o solo não era saturado.

Concluímos que o sistema de armazenagem e infiltração da água pluvial no solo se faz bastante eficiente, mesmo para coberturas maiores. Dessa forma o projeto deve ser bem elaborado, e analisar cada caso. Não será possível implantar em todas as edificações, principalmente nas já existentes, pois se faz necessário um espaço mínimo entre as edificações e fundações.

Neste sentido, sugere-se que novas pesquisas sejam feitas incluindo o dimensionamento do sistema de infiltração das águas pluviais, de forma a garantir um sistema que seja adequado quanto a sua capacidade para as precipitações recorrentes em Caratinga – MG.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E. H.; AMORIM, A. J. **Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso**, Caminhos de Geografia revista online, Disponível em < www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15372/8671>. acesso em 27 agosto de 2016.
- ALISSON, E. **Sistema de bioretenção de água de chuva pode ajudar a combater enchentes**. Agência FAPESP. Disponível em < http://agencia.fapesp.br/sistema_de_bioretencao_de_agua_de_chuva_pode_ajudar_a_combater_enchentes_/22575/>. Acesso em 06 de outubro de 2016.
- APPLIED ECOLOGICAL SERVICES. **Fulton Neighborhood Rainwater Management Fact Sheets**. Fulton, 2002. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995. 18p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984. 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9814: **Execução de Rede Coletora de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, 1987. 19p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: **Instalações Prediais de Águas Pluviais**. Rio de Janeiro, 1989. 13p.
- ATLANTIS. **Modular Tank System**. Disponível em <<http://atlantiscorporation.com.au/>>. Acesso em 27 de outubro de 2016.
- BACCARO, C. A. D. Os estudos experimentais aplicados na avaliação dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia: EDUFU, 1994. p. 55-61.
- CAMPOS, N. **Gestão de Águas: princípios e práticas**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Fortaleza, 2001.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CULTEC. **Underground Infiltration Systems**. Brookfield. Disponível em <<https://www.cultec.com>>. Acesso 10 mai. 2016.
- FORTLEV. **Catálogo de Produtos**. Disponível em <http://www.fortlev.com.br/externos/produto/catalogo/suporte_20100820090833.pdf>. Acesso em 23 outubro de 2016.
- MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo: ABCP, 2010.

- MATOS, M.R. **Gestão integrada de águas pluviais em meio urbano, Visão estratégica e soluções para o futuro**, p. 23-26, LNEC, 2000, ISBN 972-49-1854-8.
- MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimento permeável e Escoamento Superficial da água em áreas urbanas. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**. Cuiabá, 2007
- MAZZONETTO, C. **Concreto permeável**. Infraestrutura urbana. Disponível em < <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/concreto-permeavel-alternativa-para-aumentar-a-permeabilidade-de-pavimentos-254488-1.aspx>>. Acesso em 07 de outubro de 2016.
- MECHELL, J; LESIKAR, B. **Rainwater harvesting**. Texas: U.S department of agriculture, under Agreement, 2005.
- MELO, T. dos A. T. DE; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.
- MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- MOURA, N. C. B. **Biorretenção: Tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva** . p 161. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, USP. São Paulo, 2013.
- OFDA/CRED. The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. **Annual Disaster Statistical**. Université Catholique de Louvain.
- ONU. **Organização das Nações Unidas**. Disponível em < <http://www.onu-brasil.org.br>>. Acesso em 10 de maio de 2016.
- PEDROSA, V. A. **O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins**. p 26. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS. Porto Alegre, 1996.
- PERSYN, R.; DANA, P.; VALEEN, S. **Rainwater Harvesting**. Texas Cooperative Extension, The Texas A&M University System. 2004.
- PINTO, L. H.; PINHEIRO, S. A. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2006.
- PINTO, N. L. DE S; HOLTZ, A. C. T; MARTINS, J. A; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 2015. p. 2-4.
- SOUSA, M. M. **Trincheiras de infiltração**. Disponível em < <http://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/>>. Acesso em 21 de novembro de 2016.
- TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY. **On-site sewage facilities**. 2005. C. 285.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil Survey Manual. Handbook.** Washington, 1993.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Stormwater Technology Fact Sheet: Infiltration Trench.** Washington, 1999.

USGS. **O Ciclo da Água.** Disponível em <<http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acesso em 21 de novembro de 2016.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

VILLELA, S. M. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.