



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**  
**ENGENHARIA CIVIL**

**ALISSON MEIRA COOPER**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS  
PERMEÁVEIS DO TIPO INFILTRAÇÃO TOTAL PARA REDUÇÃO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL, NA CIDADE DE ALEGRETE/RS**

**Alegrete-RS**

**2013**

**ALISSON MEIRA COOPER**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS  
PERMEÁVEIS DO TIPO INFILTRAÇÃO TOTAL PARA REDUÇÃO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL, NA CIDADE DE ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Fátima Cibele Soares

**Alegrete**

**2013**

**ALISSON MEIRA COOPER**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS  
PERMEÁVEIS DO TIPO INFILTRAÇÃO TOTAL PARA REDUÇÃO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL, NA CIDADE DE ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Hidrologia

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 24 de setembro de 2013.

Banca examinadora:

---

Profa. Dra. Fátima Cibele Soares  
Orientadora  
Unipampa

---

Profa. Dra. Ana Rita Costenaro Parise  
IFF/Farroupilha

---

Prof. Me. Roberlaine Ribeiro Jorge  
Unipampa

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por esta conquista, por ter me proporcionado capacidade e ter colocado as pessoas certas em minha vida.

A minha família, por terem sempre me acolhido e pela paciência demonstrada perante cada dificuldade da minha caminhada. Em especial a minha mãe e meu pai, por terem sido fontes inesgotáveis de sabedoria, amor, exemplo e entendimento nos momentos difíceis. A minha avó Umbelma, por sempre ter sido uma verdadeira mãe, me orientando nunca deixando desanimar a cada revés que sofri.

Ao meu primo Willian, por todos os momentos, além de dividir o quarto comigo todos esses anos, facilitando minha estadia em Alegrete.

A minha namorada Lenice, por ter sido companheira, incentivadora, carinhosa e acreditar em meu potencial.

Ao meu amigo, José Alexandre, por ter acreditado na ideia do trabalho, ter participado de todos os momentos difíceis sem nunca desanimar, além de me dar força para continuar quando tudo parecia perdido.

Ao Emílio, por ter dedicado seu tempo para ajudar a solucionar todos os problemas que por diversas vezes lhe pedi auxílio.

A professora Fátima, pela excelente orientação, atenção e incentivo, sempre que precisei e pela contribuição na minha busca por novos conhecimentos e aperfeiçoamento profissional.

Um agradecimento especial à professora Elizabete, pela orientação, ajuda e atenção em todos os momentos, mesmo longe de Alegrete, sempre auxiliou de alguma forma.

A colega Luana, por todos estes anos de amizade, parceria e estudo.

Aos demais colegas e amigos por terem me apoiado, ajudado de alguma maneira para a confecção deste trabalho, além é claro, dos bons momentos vividos.

A todas as pessoas e empresas que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

## RESUMO

O crescimento das superfícies impermeáveis nas cidades aumenta o escoamento superficial e reduz a capacidade de infiltração do solo. Uma alternativa para devolver as condições de pré-urbanização para o solo é a utilização dos pavimentos permeáveis. O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de implantação dos pavimentos permeáveis do tipo infiltração total na cidade de Alegrete/RS, a fim de reduzir o escoamento superficial gerado pelo regime pluviométrico. O experimento foi conduzido em área localizada na Universidade Federal do Pampa/Campus de Alegrete. Nesta área foram realizados ensaios de infiltração de água no solo e análise granulométrica. Foram testados três tipos de superfícies, que poderão ser utilizadas para redução dos escoamentos gerados pelas chuvas: blocos de concreto permeável, concreto e grama. Em cada superfície foram simuladas precipitações máximas, calculadas de acordo com a curva IDF, para região de Alegrete/RS. Os valores para as constantes da respectiva equação, foram obtidos em Pruski et al. (2006). Utilizou-se um período de retorno (Tr) de 10 anos e tempo de duração da precipitação de 10 minutos. Para a aplicação destas precipitações foi construído um simulador de chuvas. No período das simulações das chuvas, eram anotados os valores que precipitavam sobre a área de  $1\text{m}^2$  e no final do tempo eram registrados os valores que escoaram durante este período. Assim foi possível, através do método racional, determinar o coeficiente de escoamento de cada superfície estudada. Os resultados foram submetidos à análise da variância e as médias comparadas entre si pelo teste T de Student, em nível de 5% de probabilidade de erro. Os resultados demonstram que a impermeabilização das cidades com concreto e asfalto aumenta o escoamento superficial, geralmente ocasionando as inundações urbanas. Os blocos de concreto permeável reduzem o escoamento superficial em comparação com o concreto, comprovando sua eficácia, surgindo como alternativa em substituição as superfícies impermeáveis. A superfície gramada apresentou os melhores resultados gerando pouco escoamento, comprovando que sua remoção é prejudicial no controle do escoamento. Para a cidade de Alegrete/RS, embora a taxa de infiltração básica seja inferior à indicada para implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total, o uso destas superfícies é recomendável, uma vez que reduziu o escoamento em vinte vezes, quanto comparado a superfícies de concreto. Também recomenda-se o uso de superfícies gramadas para redução do escoamento pluvial.

Palavras-chave: Escoamento superficial. Pavimento permeável. Coeficiente de escoamento.

## ABSTRACT

The growth of impermeable surfaces in cities increases runoff and reduces the infiltration of the soil. An alternative to returning the pre-urban conditions for the use of the soil is permeable pavements. The objective of this work was to verify the possibility of deployment of permeable pavements infiltrative overall in the city of Alegrete/RS, in order to reduce the runoff generated by rainfall. The experiment was conducted in an area located at the Federal University of Pampa/Campus Alegrete. Tests were carried out in this area of infiltration of water in soil and particle size analysis. Three different types of surfaces that can be used to reduce runoff generated by rainfall: permeable concrete blocks, concrete and grass. On each surface were simulated maximum rainfall, calculated according to the IDF curve for Alegrete/RS. The values for the constants of the respective equation, were obtained Pruski et al. (2006). We used a return period ( $T_r$ ) of 10 years and duration of the precipitation of 10 minutes. For the application of these precipitation has built a rainfall simulator. During the simulations of rainfall were recorded values that rushed over the area of  $1\text{m}^2$  and end time values were recorded during this period that leaked. Thus it was possible, through the rational method of determining the flow coefficient for each area studied. The results were submitted to analysis of variance and means were compared by Student's t test at the 5% level of probability. The results demonstrate that the waterproofing of concrete and asphalt in cities increases runoff, usually causing urban flooding. The permeable concrete blocks reduce runoff compared with concrete, proving its effectiveness, emerging as alternative impervious surfaces. The grassy surface showed the best results generating little runoff, proving that their removal is detrimental to control runoff. For the city of Alegrete/RS, although the infiltration rate is less than indicated for deployment of permeable pavements infiltrative total, the use of these surfaces is recommended, since it reduced the flow in twenty times, as compared to surfaces concrete. It is also recommended the use of grassed surfaces to reduce the rain runoff.

Keywords: Runoff. Permeable pavement. Runoff coefficient.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>09</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>11</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Impactos da urbanização .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Tipos de enchentes .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Impactos do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Drenagem urbana convencional versus drenagem urbana sustentável .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1 Drenagem urbana convencional .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Drenagem urbana sustentável .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Medidas de controle na fonte .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Precipitação .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6.1 Análise de dados de chuva .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.2 Intensidade máxima de chuva (<math>i_p</math>) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.3 Simuladores de chuva .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7 Escoamento superficial .....</b>	<b>21</b>
<b>2.8 Hidrograma unitário sintético .....</b>	<b>22</b>
<b>2.9 Infiltração .....</b>	<b>23</b>
<b>2.9.1 Medição da capacidade de infiltração .....</b>	<b>24</b>
<b>2.9.2 Fatores intervenientes na capacidade de infiltração .....</b>	<b>25</b>
<b>2.10 Pavimentos permeáveis .....</b>	<b>25</b>
<b>2.11 Critérios de projeto e dimensionamento de pavimentos permeáveis .....</b>	<b>28</b>
<b>2.11.1 Análise da viabilidade de implantação do pavimento .....</b>	<b>29</b>
<b>2.11.2 Reconhecimento das características do local de implantação .....</b>	<b>30</b>
<b>2.11.3 Caracterização do solo subjacente.....</b>	<b>30</b>
<b>2.12 Escolha dos materiais .....</b>	<b>31</b>
<b>2.12.1 Camada superficial .....</b>	<b>31</b>
<b>2.12.2 Material do reservatório .....</b>	<b>32</b>
<b>2.13 Interface das camadas .....</b>	<b>32</b>

<b>2.14 Dimensionamento hidráulico-hidrológico do pavimento .....</b>	<b>32</b>
<b>2.15 Manutenção e durabilidade .....</b>	<b>34</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Caracterização do solo da área experimental .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1 Granulometria .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.2 Determinação da capacidade de infiltração .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Construção e calibração do simulador de chuva .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Superfícies de estudo .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 Execução das superfícies .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.1 Pavimento permeável .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.2 Superfície gramada .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4.3 Concreto convencional .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5 Montagem da calha coletora para captação do escoamento .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6 Ensaio de escoamento superficial .....</b>	<b>43</b>
<b>3.7 Análise dos dados.....</b>	<b>43</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Ensaio de infiltração .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Dimensionamento do reservatório de pedras .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Valores do coeficiente “C” .....</b>	<b>45</b>
<b>4.4 Comparação de escoamento superficial entre as superfícies .....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Hidrogramas simulados .....</b>	<b>51</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Considerações finais .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Recomendações futuras .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, de forma genérica, proporciona melhorias na qualidade de vida da população, tais como edificações (casas, fábricas, lojas), ruas e avenidas, espaços de lazer entre outras. No entanto, áreas construídas podem causar a impermeabilização da superfície do solo, alterando as características de volume quantidade e qualidade do ciclo hidrológico.

Com o crescimento das áreas impermeáveis, principalmente através dos asfaltamentos das ruas/avenidas, áreas de garagens, pátios internos acarretam no aumento do volume de águas pluviais, tornando-se necessárias implementações de redes de drenagem pluvial para aliviar o escoamento superficial. Segundo Tucci (2000), a impermeabilização de 7% da área dos lotes acarreta a duplicação do escoamento superficial e a impermeabilização de 80% do lote, geram um volume de escoamento superficial oito vezes maior.

O sistema de drenagem existente no país é alicerçado nos conceitos higienistas do século XX, que tem por objetivo o rápido escoamento das águas, utilizando-se, para isso, de obras hidráulicas. Esse tipo de prática tem se mostrado ineficiente, transferindo o problema da inundação urbana para a jusante, Moura (2005).

Conforme Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), a tendência moderna na área de drenagem urbana é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento, atuando na fonte da geração do mesmo. Para tanto, deve-se utilizar de dispositivos de acréscimo de infiltração e do aumento de retardo do escoamento de águas pluviais.

Quanto aos principais tipos de dispositivos de infiltração, Moura (2005) cita os valos de infiltração, as trincheiras de infiltração e os pavimentos permeáveis. Nesse sentido, diversas pesquisas têm sido realizadas, utilizando-se de aparatos experimentais para o monitoramento do desempenho do dispositivo, com o objetivo principal de analisar a viabilidade técnica e econômica na utilização de um pavimento permeável, de baixo custo, de fácil montagem e tecnologia simples, no controle da geração de escoamento superficial, na fonte, Acioli (2005). Já Moura (2005), quantificou o escoamento superficial juntamente com a taxa de infiltração em três tipos de superfícies, além disso, fez-se uma análise comparativa do desempenho dessas superfícies em relação à superfície gramada tomada como referência, concluindo que a remoção da vegetação e a impermeabilização do solo causam impacto no escoamento superficial da bacia hidrográfica.

No Brasil, os pavimentos permeáveis ainda são pouco conhecidos e difundidos, por causa de problemas relacionados ao baixo conhecimento técnico, de desempenho, da

manutenção, da durabilidade e eficácia com o passar dos anos, principalmente, onde podem ocorrer problemas como a colmatção por sedimentos e juntamente com a passagem de veículos, ocasionando a redução da capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial.

Cabe salientar que, por vezes, a implementação de redes de drenagem pluvial é inviável técnica e economicamente, por causa dos custos envolvidos neste processo, como salientam Souza (2002) e Tucci (2005). Por outro lado, a utilização dos pavimentos permeáveis é uma técnica nova e, em pesquisas realizadas no país (Araújo, Tucci e Goldenfum, (1999); Acioli, (2005)), este tem se mostrado uma eficiente ferramenta de controle do escoamento superficial e de recarga do lençol freático. Em sua grande maioria as pesquisas, geralmente, são realizadas em grandes centros urbanos, principalmente, pesquisas advindas das Universidades, trabalhos à nível de mestrado e doutorado, pouco se sabe como é o seu comportamento em cidades mais afastadas dos grandes centros urbanos.

Em face do apresentado, na qual cita-se o crescimento das áreas impermeáveis nos centros urbanos, torna-se necessário o estudo do pavimento permeável como solução para a redução de escoamento superficial, que é um dos fatores causadores de enchentes, na qual se destaca a seguinte questão de pesquisa: a implantação dos pavimentos permeáveis é viável tecnicamente, para as condições específicas da cidade de Alegrete-RS?

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Analisar a possibilidade de implantação do pavimento permeável para as condições climáticas e de solo da cidade de Alegrete/RS.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- identificar a capacidade de infiltração do solo em estudo;
- avaliar o escoamento superficial gerado em diferentes tipos de superfícies (blocos de concreto permeável, concreto convencional e gramada);
- verificar a viabilidade técnica de implantação desse dispositivo.

## 1.2 Justificativa

A urbanização consome espaço natural, gerando um desequilíbrio do ciclo hidrológico e a substituição da vegetação natural, pelas áreas impermeáveis, que aumentam o volume e a velocidade do escoamento superficial. Em decorrência disto, ocorrem as inundações urbanas, que causam transtornos e prejuízos, geralmente para a população mais carente, devido ao fato de localizarem-se próximos às áreas de várzeas e leitos dos rios. Portanto, com a intenção de reduzir este tipo de incidência, se faz necessário a implantação de medidas que minimizem o escoamento superficial, devolvendo ao solo a sua capacidade de infiltração, em substituição as superfícies impermeáveis.

A cidade de Alegrete/RS está crescendo rapidamente, principalmente com a instalação da Universidade Federal do Pampa, conseqüentemente novos professores e alunos para a moradia local. Percebe-se que novos empreendimentos estão aumentando gradativamente a impermeabilização do solo, contribuindo para um maior escoamento superficial. O sistema de drenagem pluvial existente é antigo, e ainda devido ao crescimento de construções para as novas moradias o esgoto sanitário esta sendo ligado nessas redes pluviais, pois a implementação de redes de drenagem pluvial e de esgoto demandam altos custos para a prefeitura. Ademais, para agravar a situação, já existem na cidade, locais onde ocorrem inundações urbanas. Esse cenário mostra a necessidade de buscar-se novas alternativas para atenuar os impactos ocasionados à jusante. Os pavimentos permeáveis é uma das soluções para diminuir a intensidade do escoamento superficial, retardando o tempo da vazão das águas pluviais a montante.

O pavimento permeável é uma das melhores opções para minimizar a impermeabilização das cidades, por suas características de permitir a infiltração da água para o solo e por sua versatilidade de uso, pois pode ser utilizado em calçadas, parques, praças, quadras poliesportivas, estacionamentos e ruas de tráfego leve (ALEGRIA, 2011, p.01).

Tal pavimento reduz o escoamento superficial e, para a sua utilização, faz-se necessários estudos que proporcionem verificar o seu comportamento, na tentativa de devolver, de forma mais efetiva, as condições existentes antes da urbanização.

Vale salientar, de acordo com Alegria (2011), que o pavimento permeável já é utilizado há mais de trinta anos nos Estados Unidos e em países europeus, como Inglaterra e Alemanha. Nesse sentido, e como objeto de estudo deste trabalho, serão abordados os pavimentos permeáveis, que podem ser utilizados como via para pedestres, estacionamentos e tráfego de

veículos leves, entre outras utilizações. Eles possuem a capacidade de reduzir o volume de escoamento superficial e vazões de pico, a valores próximos aos de pré-urbanização.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Impactos da urbanização**

O crescimento urbano das cidades provoca significativas mudanças na população e no meio ambiente. Sabe-se que os problemas gerados, são em função da falta de planejamento das cidades, tais como: ocupação de áreas de risco, sistemas de drenagem inadequados e carência dos serviços básicos. O desenvolvimento urbano brasileiro concentra-se nas metrópoles e nas capitais e cidades pólos regionais.

Segundo os resultados do Censo Demográfico 2010, a população do Brasil superou a marca de 190 milhões de habitantes, a série de censos brasileiros mostrou que a população cresceu quase 20 vezes desde o primeiro recenseamento realizado no Brasil, em 1872 (IBGE, 2011).

Os efeitos desse processo é sentido por todos os componentes do sistema de recursos hídricos: abastecimento de água, coleta de esgoto pluvial e cloacal. De acordo com Tucci (1997), embora o planejamento urbano englobe conhecimentos interdisciplinares, a prática mostra que é feito por uma minoria no âmbito mais restrito do conhecimento.

Desta forma, o planejamento urbano, realizado no país, não tem levado em consideração fatores fundamentais, que provocam transtornos e prejuízos para a sociedade e o ambiente. Essa visão errônea, de fazer o planejamento urbano, tem produzido um aumento das inundações, na produção de sedimentos e na qualidade da água.

Ainda, afirma o referido autor, que à medida que a cidade cresce ocorrem os seguintes impactos:

- aumento das vazões máximas devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo);
- deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

O desenvolvimento de ações, por parte do poder público, na maioria das cidades brasileiras, é do tipo estrutural, com as canalizações sendo intensamente utilizadas, com custos altíssimos, transferindo o problema da enchente para outro ponto da bacia. Cabe salientar que a população, quando enfrenta este tipo de situação, também pede pela canalização do trecho. O prejuízo público é dobrado, já que, além de não resolver o problema, os recursos são gastos de forma equivocada, Tucci (1997).

## 2.2 Tipos de enchentes

Dê maneira geral as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente, devido as chuvas de magnitude elevada. As enchentes em áreas urbanas podem ser decorrentes destas chuvas intensas de largo período de retorno, provocadas por mudanças no equilíbrio do ciclo hidrológico, Pompêo (2000).

É necessário realizar uma distinção entre os tipos de enchentes, pois, de acordo com Tucci (2005), existem dois tipos de enchentes em áreas urbanas que são devidas a processos que ocorrem isoladamente, ou de forma integrada, que são:

- **inundações de áreas ribeirinhas:** são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios devido a variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica.
- **inundações devido à urbanização:** são as inundações que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

De acordo com Pompêo (2000) o estudo da ocorrência de chuvas intensas, que causam as inundações, é útil na busca de soluções apropriadas aos problemas de enchentes, entretanto, é por intermédio do estudo dos impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos que se definem as ações concretas.

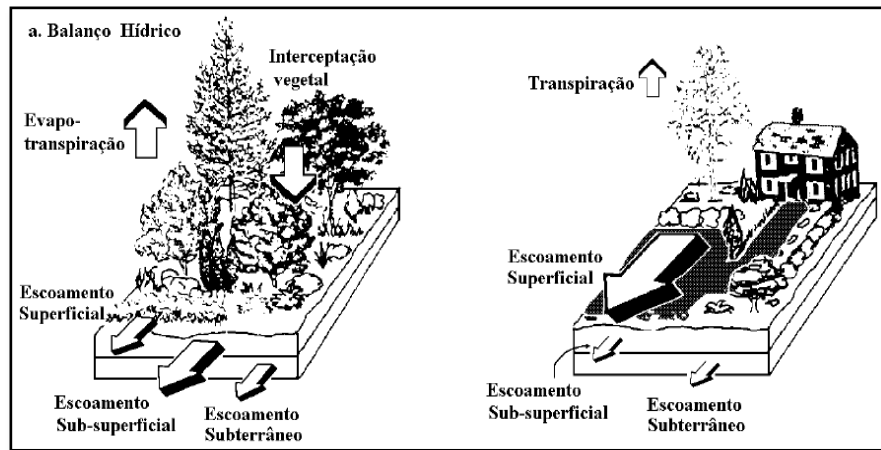
## 2.3 Impactos do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico

O desenvolvimento urbano provoca alterações como a remoção da cobertura vegetal e o desmatamento. Essas modificações podem resultar na redução dos tempos de concentração e no aumento do escoamento superficial. Desse modo, a urbanização altera o ciclo hidrológico natural, representado na Figura 1, pois a cobertura da bacia é alterada para pavimentos

impermeáveis e são introduzidos condutos para o escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações no referido ciclo, Tucci (1997):

- redução da infiltração no solo;
- o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial;
- com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação, reduzindo o escoamento subterrâneo;
- devido a substituição da cobertura natural ocorre uma redução da evapotranspiração, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.

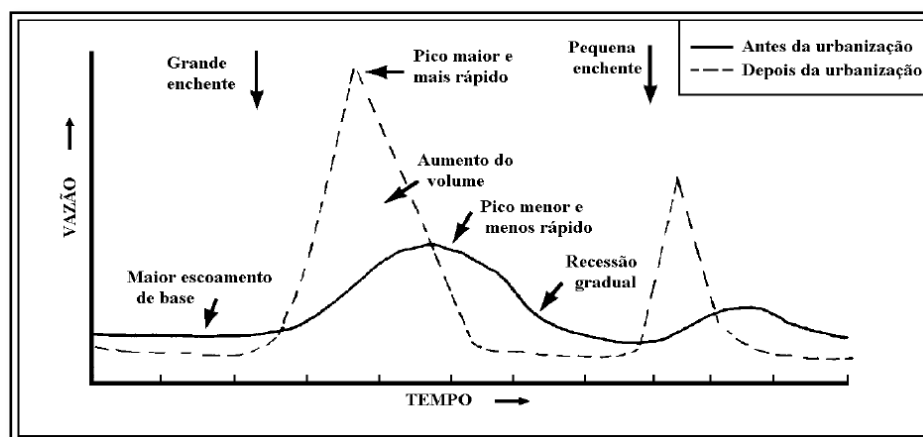
Figura 1 - Alterações do Ciclo Hidrológico



Fonte: Schueler (1987), apud Tucci (2005) p.69

As alterações supracitadas também interferem no aumento dos escoamentos, como demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Aumento do escoamento



Fonte: Schueler (1987), apud Tucci (2005) p.69

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que infiltrava, passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2005, p.67).

Vale salientar que estas são as principais alterações no balanço hídrico quantitativo, e a proporção como esses valores se alteram variam de acordo com as condições de cada localidade em função do tipo de solo, cobertura, geologia, pluviosidade e clima, Tucci (2005). Ainda, afirma o referido autor, que o impacto da urbanização é mais significativo para precipitações de maior frequência onde o efeito da infiltração é mais importante.

O tema é bastante amplo e existem diversos trabalhos que não foram aqui mencionados, porque o espaço não permite citar, porém, é possível perceber que os impactos causados pela urbanização são inerentes ao aumento das densidades populacional e habitacional, formando um intrincado complexo de causas e efeitos. Portanto, estes processos estão inter-relacionados de forma bastante complexa, resultando em problemas que se referem não somente às inundações, como também à poluição, ao clima e aos recursos hídricos, de maneira geral. Observa-se que tal complexidade não permite que possa haver soluções eficientes e sustentáveis que não abranjam todos os processos e suas inter-relações, o que exige que se atue sobre as causas.

## **2.4 Drenagem urbana convencional *versus* drenagem urbana sustentável**

Drenagem é o termo aplicado para o escoamento de águas através de instalações hidráulicas, podendo ser aplicada em rodovias, zona urbana e rural.

Conforme Silveira (2002), a drenagem urbana tem uma função precípua: minimizar a presença de excessos de circulação de águas, especialmente pluviais, em locais indevidos no meio urbano, o termo "drenagem" não significa somente a ideia da rápida evacuação das águas, pois uma alternativa para o controle da drenagem é o armazenamento transitório em locais previamente designados. O que a drenagem urbana não deve promover é o desequilíbrio do ciclo hidrológico e o agravamento de condições sanitárias e ambientais.

### **2.4.1 Drenagem Urbana Convencional**

O sistema convencional está alicerçado nos conceitos higienistas do século XIX, com o seguinte princípio: rápido escoamento das águas: "pegar e largar". De acordo com Silveira (2002), o conceito higienista teve seu germe no século XVIII, quando constata-se na Itália que as águas de banhados e zonas alagadiças influenciavam na mortalidade de pessoas e animais. Com isto, sugeriram-se as obras de drenagem, como os condutos, canais e galerias.

Ainda, afirma o referido autor que, no Brasil, como parece ser em outros países em desenvolvimento, há o agravante ainda de o conceito higienista ser mal aplicado, seja por falta de recursos, mau dimensionamento, má execução ou manutenção deficiente.

A drenagem convencional atua localmente, transferindo o problema do excesso de água para a jusante, desse modo, esse sistema de drenagem se torna insustentável à medida que as cidades se desenvolvem, pois com o aumento da demanda haverá a necessidade de implementação da rede com custos altos. Várias cidades ainda tem seu sistema de drenagem elaborado sem nenhum conceito técnico, o que facilita a sua aceitação de eficácia duvidosa, e a custos elevados.

No entendimento de Silveira (2002), muitos problemas ambientais foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a drenagem urbana é exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre os efeitos destas intervenções à jusante.

Pelo que foi exposto, verifica-se a necessidade de encontrar uma maneira de repensar a drenagem urbana, buscando um modelo mais atual, que se encaixe nas necessidades presentes. Isso não significa que a o modelo de drenagem convencional, com suas obras hidráulicas não possa mais ser utilizado, ele pode continuar sendo utilizado, porém com mais racionalidade. Fazendo uma mescla, entre drenagem urbana convencional e drenagem urbana sustentável.

### **2.4.2 Drenagem Urbana Sustentável**

O conceito atual ambientalista surgiu a partir de uma maior conscientização ecológica, iniciando-se após a década de 1970, nos países desenvolvidos. Na visão de Tucci (2003), os países ricos verificaram que os custos de canalização e condutos eram muito altos e abandonaram esse tipo de solução, enquanto países pobres adotam sistematicamente essas medidas, perdendo duas vezes: custos muito maiores e aumento dos prejuízos.

Outro ponto importante a ser observado é que a situação dos sistemas de drenagem pluvial é caótica, pois foram projetados no sistema antigo (higienista), apenas transferindo o



problema para a jusante. Atualmente, observa-se que os sistemas já não comportam a demanda, Diaz e Antunes, (2010). Pelo que foi exposto, verifica-se a necessidade da utilização de drenagem sustentável, que tem como objetivo principal de "imitar" o ciclo hidrológico natural.

Esse novo modelo utiliza de técnicas inovadoras de engenharia como a construção de canais abertos com a utilização de vegetação, estacionamentos permeáveis e a armazenagem de águas de chuva para utilização em irrigação de jardins e praças, sendo necessário o controle da qualidade da água para esse fim. Para a correta gestão dos recursos hídricos se faz necessária à integração das políticas para o planejamento geral, que é a bacia hidrográfica.

Com esse molde, a drenagem urbana convencional é regida pelos seguintes princípios Parkinson et al.(2003 ):

- novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão de pico das condições naturais;
- planejar o conjunto da bacia para o controle do volume;
- evitar a transferência de impactos à jusante.

Desse modo, o objetivo principal é não repassar ao sistema de drenagem o aumento da vazão gerada pela construção do novo empreendimento. Para isso, se faz necessário controle da drenagem na fonte (lote), através de valos de infiltração e trincheiras, pavimentos permeáveis, entre outros.

Convém notar que, conforme salientam Tucci (2002) e Silveira (2002) o grande empecilho de implantar o controle na fonte reside:

- na resistência de profissionais desatualizados;
- a carência tecnológica da engenharia civil para soluções modernas em drenagem urbana;
- falta de capacidade técnica os municípios para atuar de forma efetiva na fiscalização e controle;
- excesso de produção de sedimentos e lixo;
- falta de tratamento de esgoto e de um sistema eficiente de limpeza urbana.

## **2.5 Medidas de controle na fonte**

O controle na fonte da drenagem pluvial tem por objetivo a redução e retenção do escoamento pluvial, como uma medida para reduzir a vazão no sistema de esgotamento pluvial,

procurando evitar modificações ou ampliações das redes de drenagem que por vezes são inviáveis técnica e economicamente.

O sistema de esgotamento pluvial tradicional é composto por galerias pluviais, condutos, bocas de lobo, calhas coletoras de telhados, entre outros. A diferença entre o sistema tradicional e os dispositivos de controle está na forma como foram projetados, enquanto o tradicional tem por objetivo a rápida remoção das águas, os dispositivos de controle na fonte procuram reduzir e retardar escoamentos urbanos.

Feitas essas considerações, destaca-se que, os dispositivos tradicionais podem ser substituídos por outros de controle na fonte, mas não em todos os casos, pois um projeto moderno de drenagem urbana deve integrar harmoniosamente estruturas de transporte, de infiltração e retenção, Silveira (2002). Podem-se classificar os dispositivos de controle em dois tipos:

- **dispositivos de armazenamento;**
- **dispositivos de infiltração.**

Em suma, os dispositivos de armazenamento retardam o escoamento superficial para sua liberação defasada, podendo ser lançada posteriormente na rede pluvial. Fazem parte desse tipo de dispositivo os reservatórios residenciais em lotes, bacias de retenção e detenção nos loteamentos ou na macrodrenagem. Já os dispositivos de infiltração, retiram a água do sistema pluvial, promovendo a infiltração, buscando a redução do escoamento superficial. São exemplos os pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, faixas e valas gramadas Silveira (2002).

## 2.6 Precipitação

A precipitação é a única forma de entrada de água na bacia hidrográfica, sendo fundamental para o correto dimensionamento de obras hidráulicas, (Collischonn; Tassi, 2008).

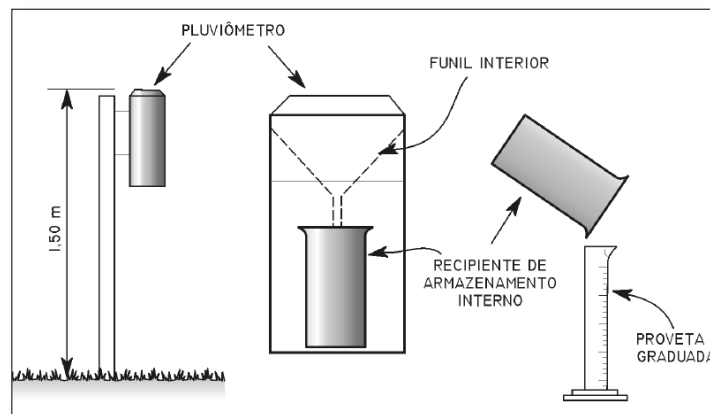
A água da atmosfera que atinge a superfície na forma de chuva, granizo, neve, orvalho, neblina ou geada é denominada precipitação. Na realidade brasileira a chuva é a forma mais importante de precipitação, embora grandes prejuízos possam advir da ocorrência de precipitação na forma de granizo e em alguns locais possa eventualmente ocorrer neve (COLLISCHONN; TASSI, 2008, p.39).

Dentre as formas citadas de precipitação, a chuva é a de maior interesse da engenharia. Existem diferentes tipos de chuvas, onde pode-se citar: chuvas frontais, chuvas convectivas e chuvas orográficas. Conforme Holtz (1976), a chuva pode ser medida utilizando-se de

aparelhos como o pluviômetro, recolhe a água tombada e a armazena convenientemente para posterior medição volumétrica, ou pluviógrafos que são aparelhos que registram continuamente a quantidade de chuva que recolhem. Estes aparelhos são recipientes com a finalidade de armazenar a água precipitada, colhendo uma pequena amostra, pois têm uma superfície horizontal de exposição de 500 cm<sup>2</sup> e 200 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Os pluviômetros, Figura 3, pelo fato de serem relativamente baratos e de fácil utilização, seu uso ocorre a bastante tempo no Brasil.

Figura 3 - Medição de chuva, com pluviômetro



Fonte: Collischonn e Tassi (2008, p.43)

### 2.6.1 Análise de dados de chuva

Para caracterizar a chuva, é necessário conhecer algumas variáveis (Garcez e Alvarez, 1988) como:

- **altura (lâmina precipitada)** é a quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal;
- **intensidade** é a relação entre a altura precipitada em (mm), dividida pelo tempo de duração da chuva em (h);
- **duração** é o tempo no qual ocorre a chuva, expresso em (h);
- **frequência** é a quantidade de vezes na qual um determinado evento de chuva se repete. Chuvas muito intensas têm frequência baixa, enquanto chuvas pouco intensas são mais comuns.

Outra variável importante em obras de engenharia é o tempo de retorno ( $T_r$ ), que é utilizado para avaliar eventos extremos de chuvas. De acordo com Collischonn; Tassi, (2008), o  $T_r$  é uma estimativa do tempo que um evento é igualado ou superado, em média.

Para as obras de engenharia a sua segurança e durabilidade frequentemente associam-se a tempo ou período de recorrência cujo significado refere-se ao espaço de tempo em anos onde provavelmente ocorrerá um fenômeno de grande magnitude pelo menos uma vez. No caso dos dispositivos de drenagem este tempo diz respeito a enchentes de projeto que orientarão o dimensionamento de modo que a estrutura indicada resista a estas enchentes sem risco de superação, resultando desta forma a designação usual de descarga de projeto.

### 2.6.2 Intensidade máxima de chuva de projeto (*ip*)

Para o cálculo da intensidade máxima é necessário calcular a precipitação (P) que atinge uma determinada área (A) em uma duração (D) com uma dada probabilidade de ocorrência em um ano qualquer. A forma de relacionar quase todas essas variáveis é a curva de Intensidade-Duração-Frequência (curva IDF). A curva IDF é obtida a partir de análise estatística de séries longas de dados de um pluviógrafo (mais de 15 anos pelo menos). Para a obtenção da curva é necessário à seleção das maiores chuvas de uma duração escolhida em cada série de dados, com base nesta série de tamanho N é ajustada a distribuição de frequências que melhor se represente a distribuição dos valores observados. Este procedimento deve ser repetido, para diferentes intervalos de duração, a curva pode ser resumida a seguinte equação, Collischonn e Tassi (2008):

$$I = a * Tr^b / (t_d + c)^d \quad \dots(1)$$

Onde:

- I é a intensidade da chuva;
- a, b, c, d são parâmetros característicos da IDF de cada local;
- Tr é o tempo de retorno em anos;
- $t_d$  é a duração da precipitação em minutos.

Ainda afirmam os referidos autores, que em termos práticos, para a utilização de uma IDF é necessário informar o tempo de retorno de projeto e a duração da chuva. O tempo de retorno a ser utilizado é um critério relacionado com o tipo de obra de engenharia. Por exemplo, no projeto de um sistema de drenagem pluvial urbano as bocas de lobo são em geral dimensionadas para chuvas de 3 a 5 anos de período de retorno, enquanto que o vertedor de uma barragem como Itaipu no rio Paraná, é dimensionado para uma vazão de 10.000 anos de período de retorno. Conforme Azzout, (1994) e CIRIA, (1996) apud Acioli (2005) em termos

práticos, costuma-se adotar o tempo de retorno da chuva de projeto para estruturas de infiltração total, um tempo de 10 anos.

### **2.6.3 Simuladores de chuva**

Simuladores de chuvas são aparelhos de execução complexa, pois é necessário para a sua criação a observação de alguns fatores para a caracterização correta da chuva. Os simuladores de chuva, que estão disponíveis no mercado para compra ainda possuem um valor elevado, dificultando sua aquisição.

Como principal vantagem que o simulador de chuva oferece é o controle que se pode ter sobre as características da chuva, como diâmetro e distribuição das gotas, altura e tempo de queda, velocidade terminal, tempo de duração, intensidade e energia cinética, o que não é possível em condições de chuvas naturais Ribeiro et al., (2010).

Estudos sobre o efeito das chuvas em atributos do solo são difíceis de serem realizados com chuva natural, pois não se tem controle sobre a duração, intensidade, distribuição e tipo de chuva. Uma alternativa que se apresenta é a utilização de simuladores de chuvas que permitem controlar as características das mesmas e têm a vantagem de poderem ser utilizados a qualquer tempo, (SOUZA, 2004, p.11).

## **2.7 Escoamento superficial**

De acordo com Collischonn; Tassi (2008), em determinadas situações a água começa a escoar sobre a superfície, formando pequenos córregos temporários ou escoando em forma de lâmina em superfícies lisas é denominado escoamento superficial. De uma maneira simples pode-se ser definido como o escoamento rápido que ocorre em consequência direta das chuvas. Em geral, os escoamentos superficial e subterrâneo correspondem a maior parcela do volume de um hidrograma.

Ainda no que se refere, existem dois principais processos na formação do escoamento superficial:

- precipitação de intensidade superior à capacidade de infiltração ou processo Hortoniano, sendo mais importante em bacias urbanas onde o solo foi modificado pelo homem;
- precipitação sobre solos saturados, que são encontrados próximos à rede de drenagem, onde o nível do lençol é mais alto.

O escoamento superficial está diretamente relacionado às precipitações. É possível realizar análises quantitativas com o cruzamento de dados referentes aos dois eventos e, assim ter uma previsão de possíveis cheias em determinadas áreas Garcez; Alvarez (1988).

A diferença entre o volume escoado e o precipitado é chamado de Coeficiente de Escoamento Superficial (C) ou Coeficiente de Deflúvio. Este coeficiente oscila entre zero e 1, aumentando à medida que a bacia se torna urbanizada, sendo de grande importância na avaliação da capacidade de sistemas de drenagens. Em suma, o coeficiente engloba efeitos de infiltração, armazenamento por detenção, evaporação, retenção e interceptação, que interferem na magnitude de pico e na distribuição cronológica CETESB, (1980) apud Moura (2005).

Para se ter uma ideia desse coeficiente, Santos (2012), afirma que o coeficiente de escoamento superficial está nas grandes cidades brasileiras em torno de 85%, ou seja, 85% do volume de chuva escoam superficialmente, comprometendo o sistema de drenagem. Em uma floresta esse coeficiente é aproximadamente 20%, ou seja, 80% do volume da chuva é absorvido.

## **2.8 Hidrograma unitário sintético**

O método do hidrograma unitário baseia-se primariamente em determinadas propriedades do hidrograma de escoamento superficial, Pinto (1976). O hidrograma pode ser interpretado como uma resposta da bacia hidrográfica, em função de suas características fisiográficas (relevo, solos, cobertura), que coordenam as relações entre chuva e escoamento em uma dada precipitação na bacia.

O hidrograma unitário é um hidrograma de escoamento superficial direto, onde a área sob esta curva corresponde a um volume unitário de escoamento superficial direto, resultante de uma chuva efetiva com intensidade e duração unitárias, Porto et al. (1999). Ainda afirma o referido autor, que o método do hidrograma unitário é um dos métodos mais práticos disponíveis para determinar a relação entre a precipitação e o hidrograma existente.

Com as informações retiradas do método, podem ser empregadas na determinação de um hidrograma de projeto para definição de capacidade de obras como: galerias pluviais e estruturas de proteção contra enchentes. Cabe salientar que por vezes, na obtenção de um hidrograma unitário é comum depararmos com a falta de dados para a sua estimativa, com isto, surge à possibilidade de utilização do hidrograma unitário sintético. Este hidrograma possui algumas características que permitem a sua determinação como:

- tempo de pico ( $t_p$ ): definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da chuva e a vazão de pico;
- tempo de base ( $t_b$ ): definido como o tempo de duração do escoamento superficial direto;
- vazão de pico: definida como a vazão máxima observada no hidrograma;
- tempo de concentração ( $t_c$ ): definido como o tempo necessário para água precipitada no ponto mais distante, deslocar-se até a seção principal, neste tempo a bacia está contribuindo plenamente e a vazão de pico é máxima.

É através de regionalização dessas variáveis com base em características físicas que se pode estimar o hidrograma unitário para regiões sem dados observados e este recebe a denominação de hidrograma sintético, Porto et al. (1999). Para este trabalho o hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service (SCS), que é um hidrograma curvilíneo adimensional, utilizando-se de métodos indiretos, quando não há registros hidrométricos, para a obtenção do hidrograma unitário através de métodos diretos.

## 2.9 Infiltração

Entende-se como infiltração, o processo da passagem da água pelo solo. De acordo com Virgiliis (2009), essa passagem provoca uma modificação instantânea das condições de pressão e teor de umidade do solo, quando entra em contato com a água.

Infiltração é definida como a passagem da água através da superfície do solo, passando pelos poros e atingindo o interior, ou perfil, do solo. A infiltração de água no solo é importante para o crescimento da vegetação, para o abastecimento dos aquíferos (reservatórios de água subterrânea), para armazenar a água que mantém o fluxo nos rios durante as estiagens, para reduzir o escoamento superficial, reduzir as cheias e diminuir a erosão (COLLISCHONN; TASSI, 2008, p.69).

Moura (2005) ressalta a necessidade, durante o estudo da infiltração, de diferenciar a capacidade de infiltração da taxa de infiltração:

- **capacidade de infiltração** é a quantidade máxima que o solo pode absorver, em termos de lâmina por tempo;
- **taxa de infiltração** é a quantidade real de água infiltrada no solo, em lâmina por tempo.

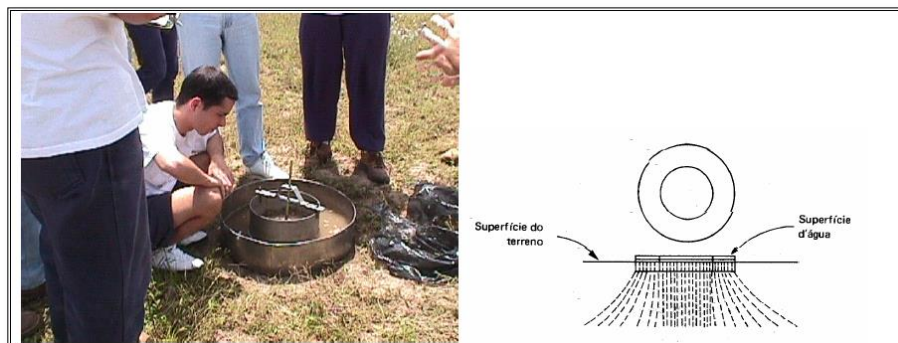
Ainda, afirma o referido autor que ocorrem três casos gerais de infiltração relacionada a precipitação:

- precipitação é menor que a capacidade de infiltração, nesse caso não haverá escoamento, pois toda a precipitação será absorvida pelo solo;
- precipitação supera a condutividade saturada, porém menor que a capacidade de infiltração, devendo ser observado o período do início da precipitação para o tempo da saturação da superfície, que varia com a intensidade da chuva;
- precipitação é maior que a capacidade de infiltração, somente nessa condição ocorrerá o escoamento.

### 2.9.1 Medição da capacidade de infiltração

A capacidade de infiltração de um solo pode ser medida pelo uso de aparelhos denominados infiltrômetros, sendo o mais comum à utilização do método dos anéis concêntricos. Este ensaio é constituído de dois anéis concêntricos de chapa metálica, com diâmetros variando entre 16 e 40 cm, que são cravados verticalmente no solo de modo a restar uma pequena altura livre sobre este, aplicando-se água para a manutenção da lâmina de água, como demonstra a Figura 4, Collischonn; Tassi (2008).

Figura 4 - Medição de infiltração utilizando o infiltrômetro de anéis concêntricos, e esquema do fluxo de água no solo



Fonte: Collischonn; Tassi, (2008, p.74)

Este ensaio é realizado por ser de fácil aplicação e por apresentar resultados confiáveis. De acordo com EPA (1999), apud Acioli (2005), recomenda-se que para a utilização dos pavimentos permeáveis a capacidade de infiltração deve ser superior a 7 mm/h.



### **2.9.2 Fatores intervenientes na capacidade de infiltração**

Conforme Garcez e Alvarez (1988) existem uma série de fatores que podem interferir na capacidade de infiltração de um solo:

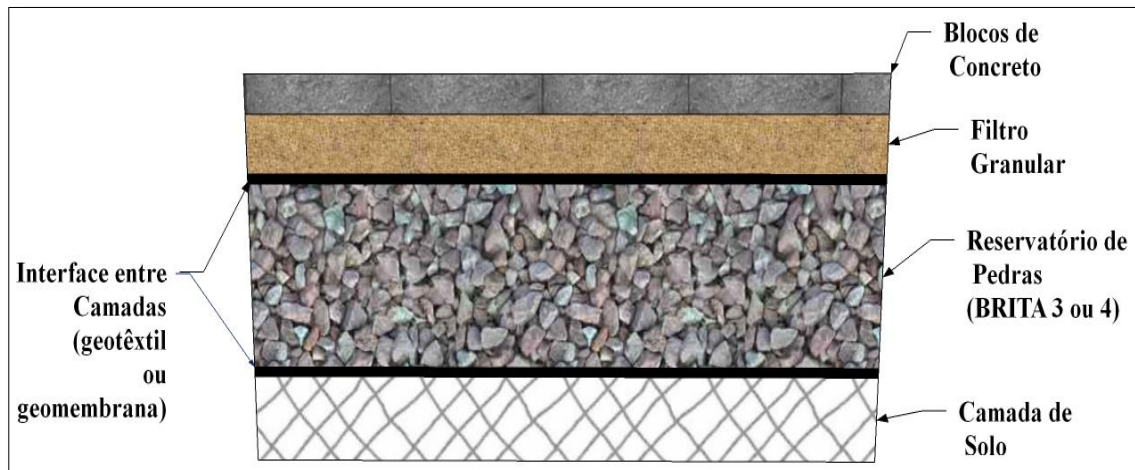
- tipo de solo: quanto maior a porosidade, o tamanho das partículas ou estado de fissuração, maior será a capacidade de infiltração do solo, os tipos de solos (argilas, siltes, areias e pedregulhos) variam entre amplos limites e sua classificação ocorre de acordo com o diâmetro dos grãos.
- cobertura do solo por vegetação: depende da espécie, estágio de desenvolvimento da vegetação e do tratamento dado ao terreno. Também é influenciado por fatores como: presença de substâncias coloidais presentes em solos de granulometria fina, que úmidos reduzem os interstícios de infiltração da água e grau de umidade do solo, pois solos com presença de umidade, no início de uma precipitação, tem uma capacidade de infiltração menor do que se estivesse seco.
- efeitos de outros fatores: ação de animais que escavam o terreno, presença de ar nas camadas inferiores e necessidade de expulsão do mesmo pela água de infiltração, temperatura da água.

### **2.10 Pavimentos permeáveis**

Pavimento permeável é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno, Figura 5 Urbonas e Stahre (1993) apud Moura (2005); Araújo, Tucci e Goldenfum (1999).

Outra definição é apresentada por Virgiliis (2009), pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada de maneira a influenciar a hidrologia e causando algum efeito positivo ao meio ambiente.

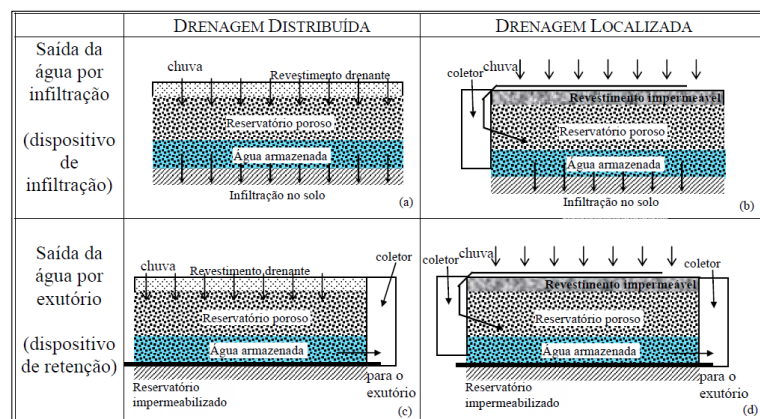
Figura 5 - Seção transversal do pavimento permeável



Fonte: Adaptado de Urbonas e Stahre (1993) apud Moura (2005, p. 20).

De acordo com Azzout (1994), citado por Acioli (2005), existem quatro tipos de pavimentos permeáveis, Figura 6, podendo possuir revestimento drenante ou impermeável e ainda ter função de infiltração ou armazenamento.

Figura 6 - Tipos de pavimentos com estrutura reservatório



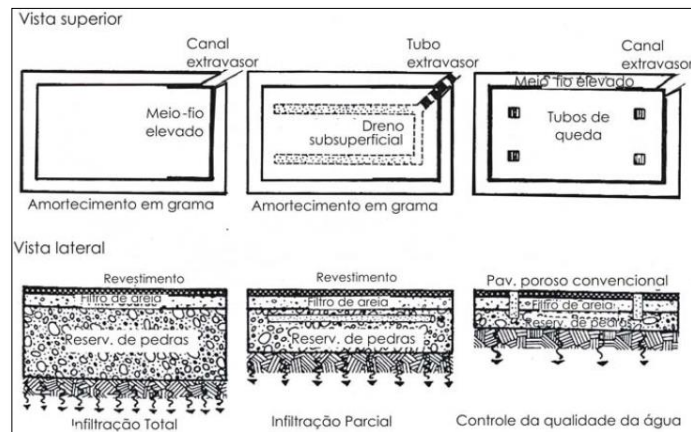
Fonte: Azzout (1994) apud Acioli (2005) p. 11

Segundo Schueler (1987) apud Acioli (2005), o projeto de pavimentos permeáveis se encaixa em três categorias, dependendo da capacidade de armazenamento do reservatório e da capacidade de infiltração do solo, são elas (Figura 7):

- **infiltração total:** toda a água recebida pelo reservatório deve se infiltrar no solo. Para isso o reservatório de pedras deve ter capacidade suficiente para receber todo o escoamento gerado para uma determinada chuva de projeto, menos o volume que é infiltrado durante a chuva;

- **infiltração parcial:** utilizado quando o solo em estudo não possui uma boa taxa de infiltração. Sendo necessária a utilização de um sistema de drenagem enterrado, composto por tubos perfurados espaçados regularmente, localizados na parte superior do reservatório de pedras;
- **infiltração para o controle da qualidade da água:** utilizado para o fluxo inicial da chuva, que possui maior concentração de poluentes, os volumes em excesso são destinados para um coletor de água pluvial.

Figura 7 - Categorias de pavimentos permeáveis



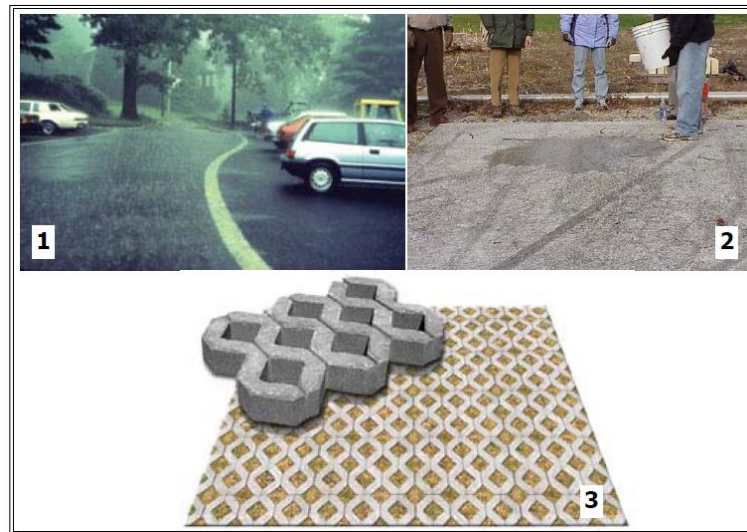
Fonte: Schueler (1987) apud Acioli (2005), p.12

O termo pavimento permeável serve para três tipos de superfícies pavimentadas, com a finalidade de redução do escoamento superficial (Urbonas e Stahre, 1993) apud Acioli, 2005:

- **asfalto poroso;**
- **concreto poroso;**
- **blocos de concreto vazado.**

Os blocos de asfalto poroso e concreto poroso, Figura 8, são preparados de forma similar aos pavimentos convencionais, com a diferença de que é retirado da mistura os agregados finos (areia), promovendo a porosidade para a infiltração, já os blocos de concreto vazado possuem aberturas em sua estrutura, que possibilitam a passagem da água, sendo assentados da mesma forma que os intertravados convencionais.

Figura 8 - Tipos de pavimentos permeáveis



Fonte: Acioli (2005, p.20)

O Quadro 1, com base em (CIRIA, 1996; EPA, 1999 apud Acioli, 2005 e Silveira (2002), apresenta as vantagens e desvantagens na utilização de pavimento permeável.

Quadro 1 - Vantagem e Desvantagem

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Aumento da infiltração e redução do escoamento superficial	Pouca perícia dos profissionais e contratantes com relação à tecnologia
Reduz os impactos hidrológicos da urbanização	Envolve um risco de falha considerável
Construção simples e rápida	Há riscos de contaminação do aquífero
Os custos durante toda a sua vida útil pode ser menor que o de outros sistemas de drenagem	Necessidade de manutenção regular e especializada

Fonte: Elaboração própria

### 2.11 Critérios de projeto e dimensionamento de pavimentos permeáveis

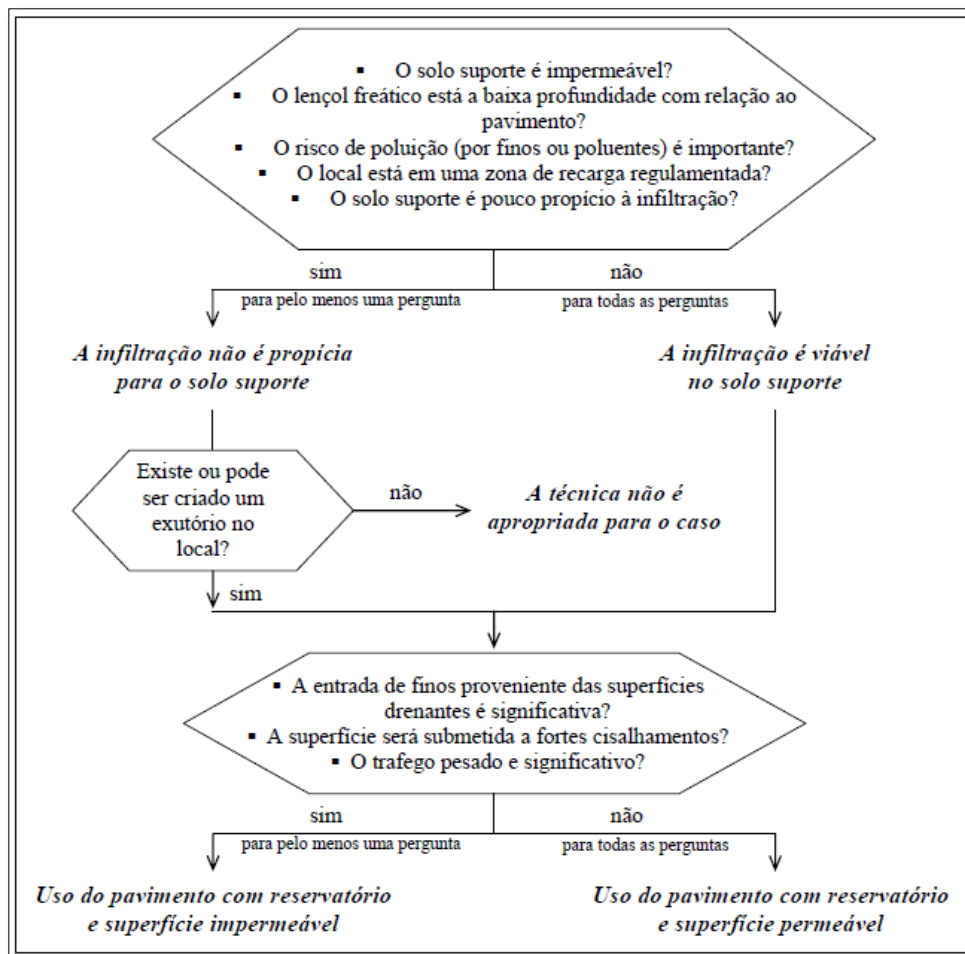
A fase de projeto é decisiva para o bom funcionamento do pavimento, qualquer omissão nessa etapa acarretará em problemas futuros. O resultado de um bom projeto será a redução dos custos. Nesse processo, é importante que sejam conhecidos os critérios físicos (estudo da viabilidade, estudos complementares, escolha do material, dimensionamento mecânico e hidráulico-hidrológico do pavimento), ambientais, econômicos e regulamentares, Acioli (2005).

**Neste trabalho serão analisados apenas alguns dos critérios físicos: estudo da viabilidade, escolha do material, dimensionamento hidráulico-hidrológico do pavimento.**

### 2.11.1 Análise da viabilidade da implantação do pavimento

Este tipo de estudo serve para observar se o pavimento permeável, como uma medida de controle na fonte, é a melhor escolha para o local de implantação. Em caso positivo, o estudo auxiliará na escolha do melhor tipo de reservatório que deve ser usada no pavimento Acioli (2005). Nesse sentido, pode-se utilizar o fluxograma abaixo (Figura 9) para a verificação da análise de viabilidade.

Figura 9 - Fluxograma para análise da viabilidade



Fonte: Azzout (1994), apud Acioli (2005) p. 15

De acordo com Acioli (2005), o fluxograma apresentado não é determinante, é apenas um guia para auxílio da tomada de decisão, visto que ainda estão sendo realizados estudos da aplicação dos pavimentos permeáveis em solos argilosos, ou seja, solos com baixa permeabilidade.

### **2.11.2 Reconhecimento das características do local da implantação**

Consiste no conhecimento mínimo da região, são eles Acioli (2005):

- áreas a serem drenadas ( a fim de se calcular o volume de armazenamento necessário),
- existência de vegetação (necessária a verificação pois, pode representar o carreamento de terra ou folhas, ocasionando a colmatação dos poros),
- topografia do local (para se determinar a declividade do fundo do reservatório, evitando que a parte mais baixa transborde, com grandes volumes),
- existência de redes de água ou esgoto,
- existência de fundações (verificar a existência, pois o aumento da umidade do solo, é prejudicial a este tipo de estrutura),
- levantamento do tráfego ao qual o pavimento será submetido.

### **2.11.3 Características do solo subjacente**

Conforme Acioli (2005) é necessário realizar uma detalhada caracterização do solo suporte, pois, assim ter-se-á o bom funcionamento da estrutura de infiltração.

Dentre os parâmetros do solo que devem ser analisados estão:

- capacidade de infiltração do solo saturado: é a quantidade real de água infiltrada no solo, em lamina por tempo. Deve ser calculada através de ensaios, em diversos pontos do local da implantação;
- capacidade de carga: é importante o seu conhecimento para o dimensionamento mecânico do pavimento;
- comportamento do solo em presença de água: necessária para se evitar a possibilidade de contaminação do lençol freático, bem como descobrir riscos com a perda da capacidade de carga do solo com o aumento da umidade.

A caracterização do solo subjacente é feita através de ensaios como: capacidade de infiltração, granulometria, condutividade hidráulica horizontal (ensaio do poço invertido). Para este trabalho será analisado a capacidade de infiltração através do ensaio dos anéis concêntricos e granulometria. A análise granulométrica pode ser obtida através do método de Vettori, onde se obtém a textura do solo.

De acordo com Streck et al., (2008) a textura do solo refere-se á proporção relativa das partículas de areia, silte e argila, que compõe a terra fina do solo. Ainda afirma o referido autor que para fins de classificação do solo as classes de textura são reunidas nos seguintes grupos:

- ✓ Textura arenosa: compreende as classes texturais areia e areia franca;
- ✓ Textura média: classes texturais com menos de 35% de argila e com mais de 15% de areia, excluídas as classes areia e areia franca;
- ✓ Textura argilosa: classes texturais com 35 a 60% de argila;
- ✓ Textura muito argilosa: classe textural com mais de 60% de argila;
- ✓ Textura siltosa: classes texturais com menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.

A textura do solo pode ser estimada no campo, durante a coleta do solo através do tato utilizando-se das diferentes sensações que os diferentes tipos de solos fornecem ao tato. Porém este método requer experiência, além disso, erros de estimativas podem ser induzidos por amostras insuficientemente homogeneizadas ou com umidade inadequada (Streck et al., 2008). As amostras coletadas de solo são submetidas a análises de laboratório padronizadas, visando a determinação de suas características físicas e químicas. Neste trabalho serão analisadas apenas características físicas do solo, que compreende a granulometria, para a determinação das proporções das frações de areia, silte e argila.

Não será verificada neste trabalho a capacidade de carga e o comportamento do solo em presença de água. A capacidade de carga não será analisada, pois, o projeto do pavimento não será levado em consideração a passagem de cargas.

## **2.12 Escolha dos materiais**

A escolha do tipo de material empregado em cada camada da estrutura do pavimento permeável deve ser feita levando em consideração os aspectos técnicos e econômicos, que resultarão na menor altura do reservatório e também ao esforço mecânico ao qual o pavimento será submetido, no caso de tráfego intenso.

### **2.12.1 Camada superficial**

O material dessa camada deve resistir às solicitações impostas pelo tráfego (deformação vertical, cisalhamento) e permitir a infiltração. Sua escolha se dará pelo seu uso e capacidade de infiltração. Outros aspectos também devem ser considerados, como: custo, disponibilidade, manutenção, estética, acústica e aderência, Azzout (1994) apud Acioli (2005).

### **2.12.2 Material do reservatório**

Conforme Acioli (2005) o material utilizado nessa camada deve transmitir as solicitações aplicadas na camada superior para o solo suporte, e também deverá armazenar a água da chuva, até a sua infiltração ou drenagem pela rede lateral. Ainda afirma a referida autora, que este material deve ser escolhido em função de sua compatibilidade com a camada superficial, do tipo de tráfego, dos aspectos construtivos, da porosidade e do custo. O material mais utilizado para essa camada do pavimento é a brita, com diâmetro maior que 10 mm.

Em face disso Schueler (1987) apud Acioli (2005), recomenda o uso de brita 3 e 4 no reservatório do pedras. Observa-se também que a resistência do material deve ser suficiente para resistir ao atrito, e evitar a fragmentação. Este material deve ser ensaiado para a obtenção da sua porosidade, pois este dado é necessário para o cálculo do reservatório de pedras.

### **2.13 Interface entre camadas**

Com o intuito de impedir a entrada de material de uma camada para a outra, utiliza-se filtro geotêxtil ou geomembrana, que será função da qual o pavimento foi concebido.

Na interface entre o reservatório e a camada de revestimento, deve ser utilizado um filtro geotêxtil, que servirá para conter os finos do revestimento nessa camada, e permitir que a água infiltre para dentro do reservatório. A interface entre o reservatório e o solo suporte, o material a ser utilizado dependerá da função do pavimento. Se tiver função apenas de armazenamento, deverá ser utilizada geomembrana ou geotêxtil, rebocado com material betuminoso, que garantirá a estanqueidade do reservatório. Se for do tipo infiltrante, deve ser utilizado filtro geotêxtil, para impedir a penetração da brita no solo, proporcionando permeabilidade ao mesmo (AZZOUT et al.(1994), apud ACIOLI (2005, p.24).

### **2.14 Dimensionamento hidráulico-hidrológico do reservatório**

O dimensionamento fornecerá a altura do reservatório, que deverá ser grande o suficiente para acomodar o volume recebido pela superfície permeável. A precipitação é obtida com base no tempo de retorno, subtraindo o volume que infiltra no solo, ou é drenado para a rede. Esta altura deverá ser comparada com a altura resultante do dimensionamento mecânico, adotando-se a maior altura encontrada. Como nesse caso não será feito o dimensionamento mecânico, pois, o pavimento não estará submetido a tráfego, a altura será o valor obtido no dimensionamento hidráulico-hidrológico.



De acordo com Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), para o dimensionamento de um sistema de infiltração total, o reservatório deve ter capacidade de receber volume de escoamento que é infiltrado durante a chuva. O volume de escoamento superficial pode ser obtido através de:

$$V_r = (i_p + c - i_e) * t_d \quad \dots(2)$$

Onde:

$V_r$ - volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm;

$i_p$ - intensidade máxima de chuva de projeto (mm/h);

$i_e$ - capacidade de infiltração no solo (mm/h);

$t_d$ - tempo de duração da chuva em horas;

$c$ - fator de contribuição áreas externas ao pavimento permeável, podendo ser estimada pela seguinte equação:

$$c = \frac{i_p * A_c}{A_p} \quad \dots(3)$$

Onde:

$A_c$  - área externa de contribuição para o pavimento permeável;

$A_p$ - área do pavimento permeável.

A profundidade do reservatório pavimento permeável é dado por:

$$H = \frac{V_r}{n} \quad \dots(4)$$

Onde:

$H$ - é a profundidade do reservatório de pedras (mm);

$V_r$ - volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm;

$n$ - é a porosidade do material do reservatório de pedras, sendo expressa por:

$$n = \frac{V_l + V_g}{V_t} \quad \dots(5)$$

Onde:

$V_l$  - volume de líquidos;

$V_g$  - volume de vazios;

$V_t$ - volume total da amostra.

Convém notar que, conforme salienta Araújo, Tucci e Goldenfum (1999) por questões práticas aconselha-se utilizar uma profundidade mínima para o reservatório de pedras de 15 cm.

## 2.15 Manutenção e durabilidade

A garantia da vida útil dos pavimentos permeáveis também está fortemente relacionada com a sua manutenção e operação. Estas estruturas devem permanecer livres de sedimentos e folhas e demais resíduos (Azzout et al., 1994) apud Acioli, 2005). O já citado autor, ainda desaconselha a utilização de vassouras para a limpeza do pavimento, alegando que seu uso pode empurrar os finos para dentro de seus poros.

EPA (1999) apud Acioli (2005) sugere que na rotina de manutenção preventiva deve-se incluir a sucção a vácuo dos poros, uma vez a cada trimestre. Seguida da injeção de água com mangueira de alta pressão, mantendo os poros limpos e abertos. Ainda no que se refere, o pavimento deve ser inspecionado repetidas vezes durante os primeiros meses, após a conclusão da obra e anualmente depois, as inspeções anuais devem ocorrer após grandes tempestades, o que colocará em evidência os pontos com problemas por entupimento. A rotina de manutenção deve ser realizada para que se possa garantir a capacidade de infiltração do pavimento, com isso reduzindo os custos futuros.

Com relação à durabilidade dos pavimentos permeáveis, este assunto é ainda muito estudado e debatido por vários autores, Acioli (2005).

Pode-se citar os seguintes fatores, que reduzem a durabilidade dos pavimentos permeáveis:

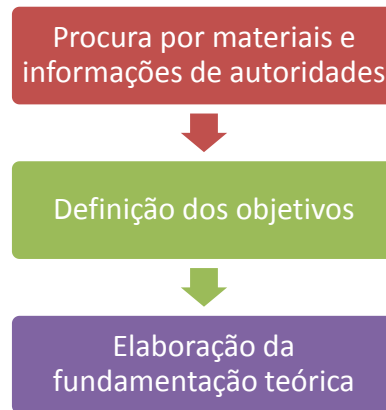
- rotina de limpeza;
- controle do tráfego de veículos pesados;
- inspeção na execução e após a construção.

Segundo Acioli (2005), quando bem projetado e conservado, o pavimento permeável tem durabilidade semelhante a do pavimento comum. Dentre os principais tipos de problemas nos pavimentos permeáveis, que influenciam na durabilidade (Schueler, 1987) apud Acioli, 2005), cita: perda parcial ou total da capacidade de infiltração, redução da infiltração e deformações do pavimento.

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho iniciou-se por buscas através de consultas em livros, artigos acadêmicos, pesquisas na internet e bibliotecas online e ainda, contatos com entidades de órgãos municipais (secretária de obras e defesa civil). Nesse sentido, a Figura 10 ilustra esquematicamente as principais etapas realizadas no TCC I.

Figura 10 - Etapas do estudo

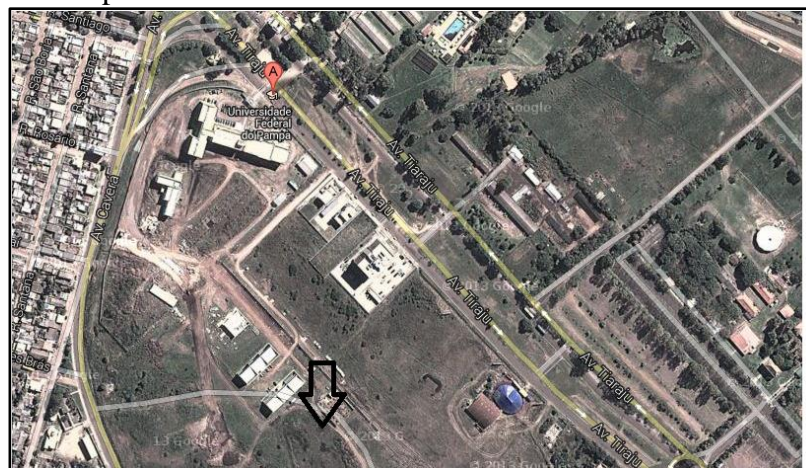


Fonte: Autor

No TCC II, foram realizados vários ensaios tais como a caracterização do solo subjacente e capacidade de infiltração, criação do simulador de chuva e a montagem do pavimento permeável.

As superfícies de estudo foram instaladas no pátio da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete, no local indicado na Figura 11.

Figura 11 - Local do experimento



Fonte: Autor

### 3.1 Caracterização do solo da área experimental

#### 3.1.1 Granulometria

Para o solo em estudo foi realizado o ensaio de textura, pelo método de Vettori, VETTORI (1969), para obter as porcentagens de areia, silte e argila do solo. As amostras de

solo foram coletadas em diferentes profundidades para uma melhor caracterização. A primeira amostra foi recolhida aos 30 centímetros de profundidade, a segunda amostra foi retirada aos 60 centímetros e a terceira foi recolhida a 1 metro de profundidade.

Para o ensaio da textura, utilizou-se apenas a primeira camada de solo (30 centímetros), pois, as duas outras camadas de solo contêm muitas pedras. A amostra recolhida a um metro de profundidade é composta basicamente de pedras, impossibilitando sua utilização no ensaio de textura, pois, este ensaio analisa somente as frações finas do solo. Esta característica observada no solo da área experimental, com um perfil rochoso muito próximo da superfície, é descrito em Streck et al. (2008).

### **3.1.2 Determinação da capacidade de infiltração**

A realização desse ensaio teve por objetivo investigar a velocidade de infiltração, no local onde foi instalado o experimento. Sendo esta informação necessária para o dimensionamento do reservatório de brita, exigido na instalação dos pavimentos permeáveis. Para a realização utilizou-se o método dos anéis concêntricos, por ser de simples execução e expressar resultados confiáveis. Os ensaios foram realizados na camada de solo onde posteriormente implantou-se a reservatório de pedras do pavimento permeável.

O ensaio consiste basicamente de dois cilindros e um dispositivo para medir o volume de água, os cilindros foram instalados concentricamente e enterrados 15 cm no solo, a Figura 12 demonstra o sistema utilizado. A água é colocada, ao mesmo tempo nos dois anéis e com o auxílio de um tripé metálico, realizaram-se as leituras em diferentes intervalos de tempo. O teste termina quando a capacidade de infiltração permanecer constante, na prática, considera-se que isso ocorra quando ela variar menos de 10% do intervalo de tempo de 1 hora.

Figura 12 - Materiais para o ensaio da infiltração



Fonte: Autor

Com os dados obtidos nos ensaios, foi possível calcular a capacidade de infiltração do solo. Para isso, utilizou-se o último valor diferente de zero da planilha, fazendo a média para os três ensaios para o cálculo da capacidade de infiltração. No local dos ensaios, posteriormente foi implantado o reservatório de pedras do pavimento permeável.

### 3.2 Construção e calibração do simulador de chuva

O simulador de chuvas utilizado nos ensaios seguiu o modelo utilizado por Alessi, Kokot e Gomes (2006), por possuir a capacidade de gerar precipitações com intensidades variáveis sobre uma parcela alvo de 1 m<sup>2</sup>.

O simulador é constituído por uma armação retangular, apoiada sobre quatro apoios fixos sobre as superfícies. Para anular ou diminuir o efeito do vento sobre o sistema, as faces laterais da armação utilizava-se plásticos minimizando assim o efeito do vento sobre as gotas de chuva.

Na base superior do simulador foi fixado um sistema de tubulações de PVC de ½” perfurado uniformemente para simular gotas de chuva, sendo alimentado por duas entradas de água. A água era bombeada através mangueiras a partir de um reservatório de 750 litros.

A Figura 13 ilustra a construção do simulador de chuva, juntamente com o sistema de alimentação, por meio de mangueiras bifurcadas, por onde a chuva foi aplicada sobre as áreas em estudo.

Figura 13 - Construção do simulador



Fonte: Autor

Para a obtenção da precipitação desejada, foram necessários vários testes, para calibrar o simulador. Desta forma, utilizaram-se copos graduados, que formavam uma malha onde captavam a precipitação aplicada (Figura 14). Posteriormente realizava-se a média do volume coletado nos copos para saber a intensidade da precipitação, até alcançar o valor desejado do projeto.

Figura 14 - Calibração do simulador, utilizando copos graduados



Fonte: Autor

É importante ressaltar que o simulador precisou ser nivelado para todos os testes, pois um pequeno desnível mudava a distribuição das gotas de chuva, ocorrendo “mais” ou “menos” volume de um lado ou de outro, alterando os valores coletados nos copos.

### 3.3 Superfícies de estudo

As superfícies escolhidas para execução dos ensaios de simulação de chuva foram:

- ✓ parcela de pavimento permeável de blocos de concreto poroso;

- ✓ parcela de concreto convencional;
- ✓ parcela gramada.

Para as superfícies de estudo, foram aplicadas chuvas de projeto para a verificação do escoamento superficial. Para obter a chuva utilizou-se da curva IDF de acordo com a equação (6), com os dados para Alegrete/RS. Os valores para as constantes da respectiva equação, foram obtidos em Pruski et al. (2006). Utilizou-se um período de retorno (Tr) de 10 anos e tempo de duração da precipitação de 10 minutos.

$$I = a * Tr^b / (t_d + c)^d \quad \dots(6)$$

Onde:

- I é a intensidade da chuva;
- a, b, c, d são parâmetros característicos da IDF do município de Alegrete/RS;
- Tr é o tempo de retorno em anos;
- $t_d$  é a duração da precipitação em minutos.

### 3.4 Execução das Superfícies

#### 3.4.1 Pavimento Permeável

Para a execução desta etapa foi necessária à remoção de terra do local onde foi implantado os blocos de concreto permeável. A profundidade do reservatório de armazenamento do escoamento foi determinada através do dimensionamento hidráulico-hidrológico.

No dimensionamento do reservatório de pedras foi utilizado o sistema de infiltração total, onde a única maneira da água sair do reservatório de pedras é através da infiltração para o subsolo.

A escolha pela metodologia de cálculo utilizada por Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), leva em conta a facilidade de obtenção das variáveis e a tendência de não superdimensionar o reservatório, em vista de outros métodos utilizados para o seu dimensionamento, como o método da curva envelope que Acioli (2005), utiliza leva a um superdimensionamento do reservatório. Levando-se em conta, que os custos na construção do reservatório podem ser determinantes na viabilidade da implantação do pavimento.

O dimensionamento foi realizado conforme a equação (7), que possui como variáveis o Vr, volume de chuva a ser retido pelo reservatório e a porosidade (n) da brita.

Conhecida a intensidade máxima e a capacidade de infiltração do solo em estudo, juntamente com o tempo de duração, foi possível obter o volume do reservatório ( $V_r$ ), dado por:

$$V_r = (i_p + c - i_e) * t_d \quad \dots(7)$$

Onde:

$V_r$ - volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm;

$i_p$ - intensidade máxima de chuva de projeto (mm/h);

$c$ - fator de contribuição áreas externas ao pavimento permeável, no caso em estudo  $c=0$ ;

$i_e$ - capacidade de infiltração no solo (mm/h), no caso a média dos ensaios de infiltração;

$t_d$ - tempo de duração da chuva em horas, adotou-se conforme Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), o tempo de 10 minutos;

Desta forma obteve-se  $V_r$ , com este valor calculou-se a altura necessária para o reservatório de pedras ( $H$ ):

$$H = \frac{V_r}{n} \quad \dots(8)$$

Onde:

$n$  - é a porosidade da brita, que para este trabalho é o valor utilizado por Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), que em ensaios encontraram a porosidade da brita comercial na ordem de 40% a 50%, no caso em estudo utilizou-se  $n=40\%$ ;

Aplicando na equação (8), encontrou-se a altura do reservatório. A altura encontrada foi menor que a altura mínima de 150 milímetros. Desta forma, adotou-se o valor mínimo de ( $H$ ), para o reservatório de pedras, como recomendam os autores acima.

Para a construção do reservatório, foi utilizada na camada inferior do reservatório uma tela fina, denominada “Sombrite”, com a finalidade de atuar com filtro. Acima desta tela, colocou-se a brita 3, formando o reservatório de pedras.

Após colocou-se novamente tela para a separação, entre a brita do reservatório e a areia de assentamento dos blocos. A espessura da camada de areia foi de 5 centímetros, convém salientar que nesta situação a boa técnica recomenda a utilização do filtro geotêxtil para a separação das camadas, porém foi necessária a utilização de um material alternativo.

Após estas etapas foi possível o assentamento dos blocos (Figura 15), com uma declividade de 2%. Para a execução da parcela de 1 m<sup>2</sup>, foram necessários 50 blocos. Estes blocos foram doados pela empresa Tecmold, de Gravataí-RS. Os mesmos resistem a uma pressão de até 35 Mpa e possuem dimensões de 20 centímetros de comprimento, 10 centímetros de largura e 8 centímetros de altura.



Figura 15 - Assentamento dos blocos de concreto permeável



Fonte: Autor

### 3.4.2 Superfície Gramada

Para esta superfície utilizou-se a grama da espécie são-carlos (*Axonopus compressus*). O local onde se instalou a superfície gramada sofreu preparação da base, de forma a nivelar o local e afrouxar a terra, para uma aderência (enraizamento) mais rápida. Posteriormente, as leivas de gramas foram colocadas na base já preparada, para a construção da parcela de 1 m<sup>2</sup> (Figura 16). Após a colocação em seu local definitivo, tomou-se o cuidado para a realização de uma pequena compactação manual, para uma maior aderência das leivas de grama com o solo. O desnível, da superfície estudada, foi de 2%. Os ensaios sobre a superfície só ocorreram 60 dias após a construção da mesma.

Figura 16 - Superfície Gramada



Fonte: Autor

### 3.4.3 Concreto Convencional

Para a execução desta superfície utilizou-se o traço para concreto, recomendado pelo Guia prático para a construção de calçadas, Castro et al. (2010). O traço utilizado foi de 1:3:5, a

placa possui 1 m<sup>2</sup> de área e 5 centímetros de espessura (Figura 17). Para a sua confecção foram necessários 17 Kg de cimento, 34 Kg de areia, 61 Kg de brita 1 e 11 litros de água.

Figura 17 - Placa de concreto (laje)



Fonte: Autor

No local do experimento, a placa, foi assentada sobre um colchão de brita compactada, e acima desta camada, foi colocado areia para a obtenção do desnível de 2%.

### 3.5 Montagem da calha coletora para captação do escoamento

Para a captação do escoamento superficial gerado pelas superfícies em estudo (Figura 18), construiu-se uma calha de tubos de PVC para esgoto, composta por um tubo de 100 milímetros cerrado ao meio, com uma das extremidades fechada com um cap. e na outra uma redução excêntrica de 100 milímetros para 50 milímetros, um joelho de 90° e tubulação de 50 milímetros. A calha coletou o escoamento e levava até o local de armazenamento, para posterior anotação dos valores escoados, durante o experimento.

Figura 18 - Calha para a captação do escoamento



Fonte: Autor

### 3.6 Ensaios de escoamento Superficial

Para cada superfície realizaram-se três ensaios, em dias diferentes, para uma melhor caracterização dos resultados. Para a obtenção da precipitação aplicada sobre a superfície, manteve-se a mesma metodologia utilizada para a calibração do simulador de chuva, com a diferença no número de copos utilizados no cálculo da média da intensidade aplicada. Para o cálculo, na calibração do simulador utilizaram-se dez copos, para os ensaios utilizaram-se três copos.

Cada ensaio teve duração de dez minutos, este intervalo de tempo foi fracionado de forma a realizar duas leituras de escoamento durante o ensaio, aos cinco e dez minutos. O escoamento recolhido pela calha era levado até o balde coletor, onde se realizavam as leituras com um recipiente graduado, a cada intervalo de tempo.

### 3.7 Análise dos dados

Com os dados obtidos nos ensaios de escoamento, foi calculado o valor do Coeficiente de Escoamento Superficial (C) ou Coeficiente de Deflúvio, através do método racional, utilizando a equação abaixo:

$$C = \frac{60 \cdot Q_{max}}{i \cdot A} \quad \dots(9)$$

Onde:

C: coeficiente de escoamento superficial;

$Q_{max}$ : vazão máxima em (litros/minuto);

i: intensidade média de precipitação em (milímetros/hora);

A: área do pavimento em (m<sup>2</sup>).

Os resultados foram analisados via análise de variância e as médias foram submetidas ao teste T, com nível de 5% de probabilidade de erro. O pacote estatístico utilizado neste trabalho foi o SAS (Statistical Analysis System).

Com base nos valores de “C”, foram simulados hidrogramas unitários sintéticos, seguindo a metodologia de Soil Conservation Service (SCS), para bacias hidrográficas com cobertura de pavimentos permeáveis, gramado e concreto. Os mesmos foram simulados a partir de precipitação máxima, calculada pela equação de chuvas intensas, utilizando os parâmetros do município de Alegrete/RS, citados em Pruski et al. (2006). As bacias hidrográficas,

representativas, apresentam as seguintes características: área de 10 hectares; relação comprimento: largura de 2:1 e declividade média de 5%.

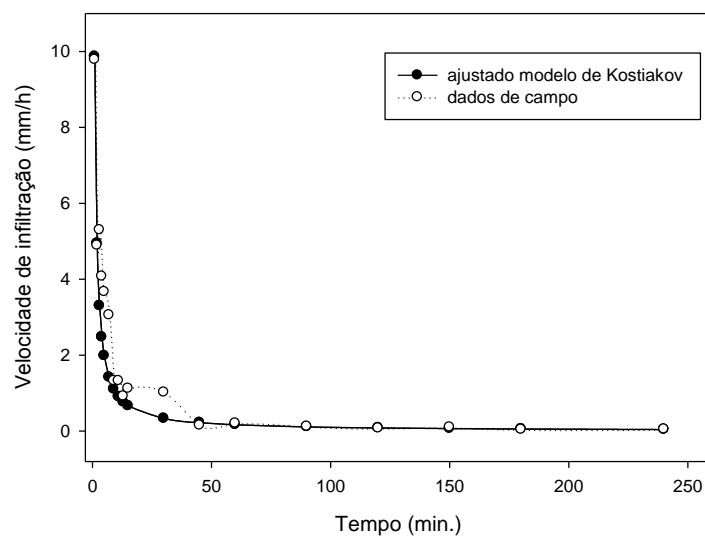
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os valores obtidos nos ensaios experimentais, juntamente com a discussão dos valores encontrados.

### 4.1 Ensaios de infiltração

A Figura 19 apresenta os valores médios de infiltração obtidos nos ensaios. Foram realizados três ensaios, para obter a média da capacidade de infiltração, em um mesmo ponto.

Figura 19 - Valores médios, de três repetições, da capacidade de infiltração do solo em estudo



Fonte: Autor

Através da Figura 19 observa-se que o solo em estudo possui baixa taxa de infiltração estável, com valores próximos a 0,04 milímetros por hora. Este valor é baixo quando comparado com trabalhos que estudam a implantação de pavimentos permeáveis a fim de obter redução do escoamento superficial, gerado pelas precipitações. Acioli (2005), encontrou valores diferentes em seus ensaios de infiltração, com velocidade de infiltração básica da água no solo de 1mm/h e 15mm/h.

Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), não apresentam o valor utilizado de infiltração em seus cálculos, porém, fazendo o processo inverso do cálculo encontra-se um valor aproximado de 7 mm/h. No entanto, estes valores corroboram com os encontrados por Soares (2012).

Esta quando determinando a velocidade de infiltração de básica em solo de área experimental da Universidade Federal do Pampa, Campus de Alegrete/RS encontrou valores variando de 0.06 mm/h a 0.01mm/h.

Está baixa capacidade de infiltração deve-se a característica rochosa do perfil de solo da região Streck et al.(2008). É possível perceber isso, após eventos chuvosos, onde o solo passa dias com a umidade superficial elevada, evidenciando a baixa capacidade de infiltração. Através dos ensaios laboratoriais de textura, constatou-se que o solo em estudo é do tipo franco siltoso, com elevado teor de silte que dificulta a infiltração resultando em um solo com baixa capacidade de infiltração.

#### **4.2 Dimensionamento do reservatório de pedras**

No dimensionamento do reservatório de pedras foi utilizado o sistema de infiltração total, onde a única maneira da água sair do reservatório de pedras é através da infiltração para o subsolo. Foi adotada chuva de duração de 10 minutos, com período de retorno (Tr) de 10 anos. Utilizando-se a curva IDF para a cidade de Alegrete/RS, obtém-se a intensidade máxima de chuva igual a 183,38 mm/h, estimando-se, portanto, o volume a ser retido pelo reservatório (Vr) em 30,5 mm.

Sendo a porosidade da brita 3, adotada igual a 40%, obteve-se uma altura de reservatório de 76,23 mm. Esta profundidade é baixa por que foi utilizada uma chuva com período de retorno relativamente pequeno e por não haver áreas de contribuição externas para o pavimento permeável.

A altura encontrada (76,23 mm) é menor que a altura recomendada por Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), que deve ser de no mínimo 150 mm. Desta forma, adotou-se o valor mínimo de (H), para o reservatório de pedras.

#### **4.3 Valores do coeficiente “C”**

A Tabela 1 apresenta os valores encontrados para o coeficiente de escoamento superficial para as diferentes superfícies, obtidos através do método racional. Para cada superfície testada, o teste foi repetido feitas vezes.

Pode-se observar que a superfície de concreto, nos diferentes testes, apresenta os maiores valores (0,46; 0,43 e 0,51) em comparação com as demais superfícies. A grama apresentou os menores valores (0,02; 0,03 e 0,02), comprovando a importância das superfícies naturais.

Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento

Teste	Intensidade simulada (mm/h)	Altura de chuva aplicada (mm)	Volume de entrada (L)	Coeficiente "C", pelo método Racional
Superfície de concreto				
1	176,3	29,38	13,51	0,46
2	177,8	29,63	12,57	0,43
3	191,4	31,89	15	0,51
Superfície Gramada				
1	198,9	33,15	0,72	0,02
2	197,4	32,90	0,75	0,03
3	177,8	29,63	0,68	0,02
Superfície de pavimento permeável				
1	197,4	32,90	2,16	0,07
2	194,4	32,40	2	0,07
3	197,4	32,90	2,25	0,08

Fonte: Autor

Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), em seu experimento encontraram para o coeficiente de escoamento do concreto o valor de 0,95, este valor é maior que os valores observados, porém, quando os autores fazem a comparação entre as superfícies ficou comprovado que o concreto gera o maior escoamento.

Com isto, fica evidente que a impermeabilização das cidades com concreto/asfaltos, aumenta o escoamento, gerando uma sobrecarga nos sistemas de drenagem pluvial. Ainda afirmam os referidos autores, que este resultado reforça a necessidade de utilização de dispositivos de redução do escoamento superficial, uma vez que o excesso gerado em áreas cobertas com este tipo de pavimento (ou outros pavimentos impermeáveis) contribui diretamente para o crescimento das cheias urbanas.

Na Tabela 1, nota-se que para a superfície gramada o coeficiente encontrado é baixo, corroborando com os valores encontrados por Moura (2005). Este autor realizou simulações sobre uma superfície gramada com inclinação de 6%, onde, em três de seus ensaios não geraram escoamento superficial. Segundo o referido autor, o longo período sem chuvas e a baixa compactação do terreno contribuíram para que não houvesse escoamento superficial. Posteriormente, Moura (2005), realizou novos ensaios obtendo um coeficiente de escoamento médio de 0,21.

Nos ensaios, realizados neste experimento, e observados na Tabela 2, foi possível verificar a mesma situação que Moura (2005) descreve, ou seja, que a superfície gramada funciona como um filtro absorvendo grande parte da precipitação, assim gerando um pequeno escoamento, proporcionando um valor baixo de coeficiente de escoamento. Ainda no que se refere Maus, Righes e Buriol (2005), em seu trabalho observaram que a superfície gramada gera apenas 2% de escoamento, sendo o restante (98%) da precipitação pluviométrica infiltra para o solo, comprovando a eficiência na redução do escoamento superficial.

Da mesma forma, verifica-se que o pavimento permeável reduz consideravelmente o escoamento superficial, produzindo também um valor baixo de coeficiente de escoamento, demonstrando que sua utilização gera benefícios para todos, sociedade e meio ambiente. Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), obtiveram o coeficiente de escoamento para uma parcela de concreto poroso de 0,01 em três ensaios realizados. Acioli (2005), em seus experimentos obteve para o pavimento permeável um coeficiente de escoamento em blocos de concreto vazado variando de zero a 12,8%, com média de 2,27%.

O pavimento em estudo apresentou um coeficiente de escoamento variando de 7 a 8% portanto, dentro dos limites encontrados por Acioli (2005). Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), afirmam que estes pavimentos não apenas mantém as condições originais de geração de escoamento superficial, mas podem reduzir estes valores à praticamente zero, dependendo das condições antecedentes e da capacidade do reservatório de pedras.

Pelo que foi exposto verifica-se o potencial dos pavimentos permeáveis para a redução do escoamento superficial, pois, os valores de coeficiente de escoamento esperado para áreas pavimentadas são muito superiores aos valores obtidos com a utilização do pavimento. É importante ressaltar, que este é um estudo inicial, onde foi testado apenas uma intensidade de chuva máxima, além de o estudo se concentrar apenas em uma área, porém os resultados mostram que o pavimento permeável, assim como a superfície gramada, apresentam um desempenho bastante satisfatório com relação à redução do escoamento superficial.

Através da média dos valores de coeficiente de escoamento, foi realizada a análise da variância e aplicação do teste de média Tabela 2 e Figura 20, a fim de observar se os coeficientes de escoamento encontrados apresentam diferença estatística entre si. Observa-se que o F calculado ( $F_c$ ) para o efeito bloco, foi inferior ao F tabelado a 5% ( $F_{5\%}$ ), assim não se rejeita  $H_0$ , e os blocos são homogêneos.

Deste modo, para trabalhos futuros, com as mesmas unidades experimentais, o bloqueamento é dispensável. Na interpretação dos tratamentos, observou-se que o  $F_c$  (315,22) é

maior que F5% (6,944), deste modo rejeitamos H0 e concluímos há diferença significativa entre os tratamentos, a 5% de probabilidade de erro.

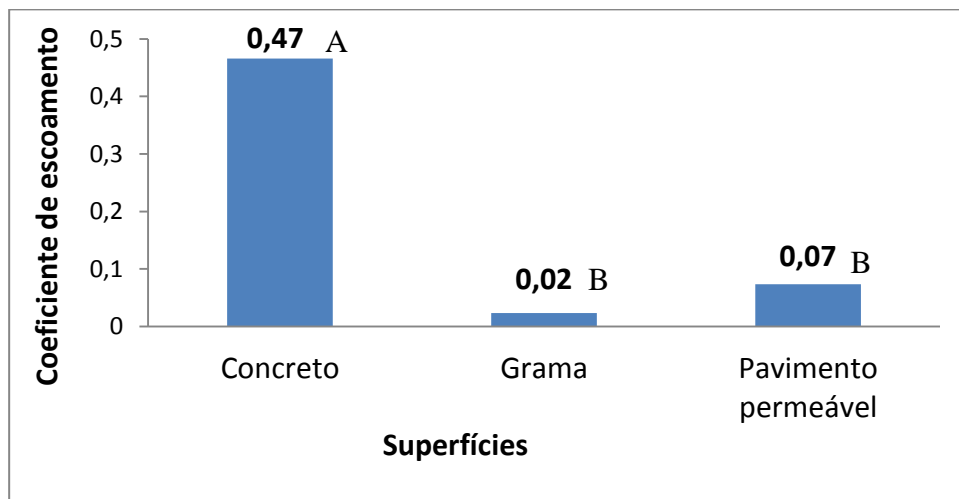
Tabela 2 - Análise de variância para os coeficientes de escoamento gerados nas diferentes superfícies testadas

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)
Blocos	2	0.0011	0.0005	<b>1.0297</b>	6.9441
Tratamentos	2	0.3537	0.1768	<b>315.228</b>	6.9441
Resíduo	4	0.0022	0.0005		
Total	8	0.3571			
C.V.	12.61%				

Fonte: Autor

Os valores do coeficiente de escoamento médios são apresentados na Figura 20.

Figura 20 - Valores médios do coeficiente de escoamento



Fonte: Autor

\*Valores seguidos de mesma letra não apresentam diferença significativa, pelo teste T ao nível de 5% de erro.

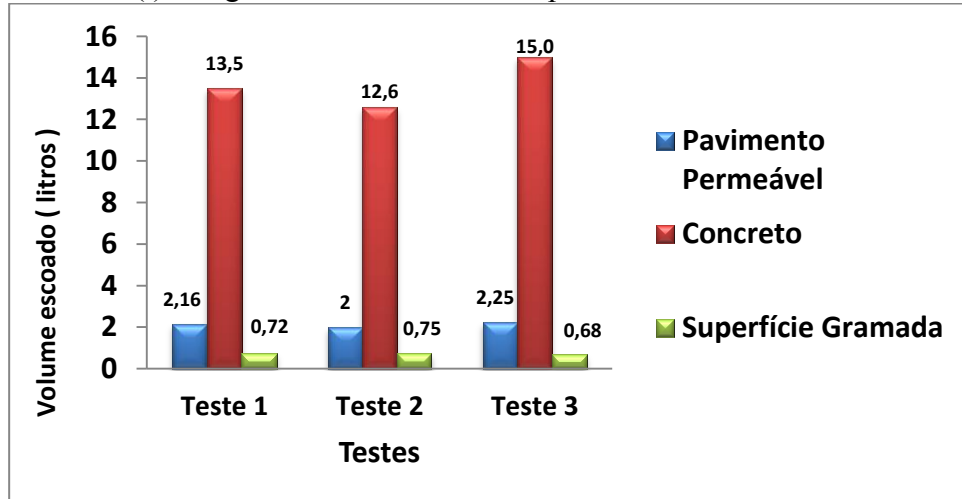
Observa-se através da Figura 20 que os coeficientes de escoamento obtidos através do escoamento superficial gerado na área coberta com pavimento permeável e superfície gramada, não apresentaram diferença estatística significativa. Já o coeficiente obtido pelo escoamento gerado pela superfície de concreto é superior e diferente estatisticamente dos demais tipos de cobertura. Deste modo, pode-se dizer que tanto os pavimentos permeáveis quanto à superfície gramada poderá ser utilizada para redução do escoamento superficial, uma vez que o efeito na redução do escoamento é o mesmo.



#### 4.4 Comparação de escoamento superficial entre as superfícies

A Figura 21 apresenta um comparativo do volume de escoamento gerado nas três superfícies analisadas neste trabalho.

Figura 21 - Volume (l) de água escoando em cada superfície testada



Fonte: Autor

Na Figura 21 acima, fica evidente que a parcela de concreto é a que gera o maior volume de escoamento, em relação à grama e ao pavimento permeável. Nos ensaios sobre a superfície de concreto, observou-se escoamento superficial imediatamente após a aplicação de chuva, assim como relata Araújo, Tucci e Goldenfum (1999). Já para as demais superfícies o escoamento não era observado logo no início da precipitação.

Provando que sua utilização impermeabiliza o solo, gerando um maior volume de água represado a jusante, para as redes de drenagem pluvial. Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), reforçam esta teoria, afirmando, que este resultado demonstra a necessidade de utilização de dispositivos de redução de escoamento superficial, pois, grandes áreas cobertas com este tipo de superfície, contribuem significativamente para o aumento das cheias urbanas.

Na Figura 21, observa-se que o pavimento permeável é a segunda superfície que gera maior escoamento. No entanto, bem inferior ao volume gerado na superfície de concreto, comprovando que seu uso reduz o escoamento, funcionando como um dispositivo que auxilia na redução do escoamento, além de devolver ao solo sua capacidade de infiltração, que lhe é retirada pela impermeabilização das cidades.

Durante os ensaios, na superfície de pavimento permeável, notou-se que grande parte da chuva aplicada, passava rapidamente através dos blocos de concreto e era direcionada para o reservatório de pedras, gerando pouco escoamento superficial, verificou-se também, que logo

após as precipitações, o pavimento permeável apresentava-se superficialmente seco, caracterizando sua rápida absorção da chuva aplicada. Estas observações também são citadas por outros autores como Araújo, Tucci e Goldenfum (1999) e Acioli (2005).

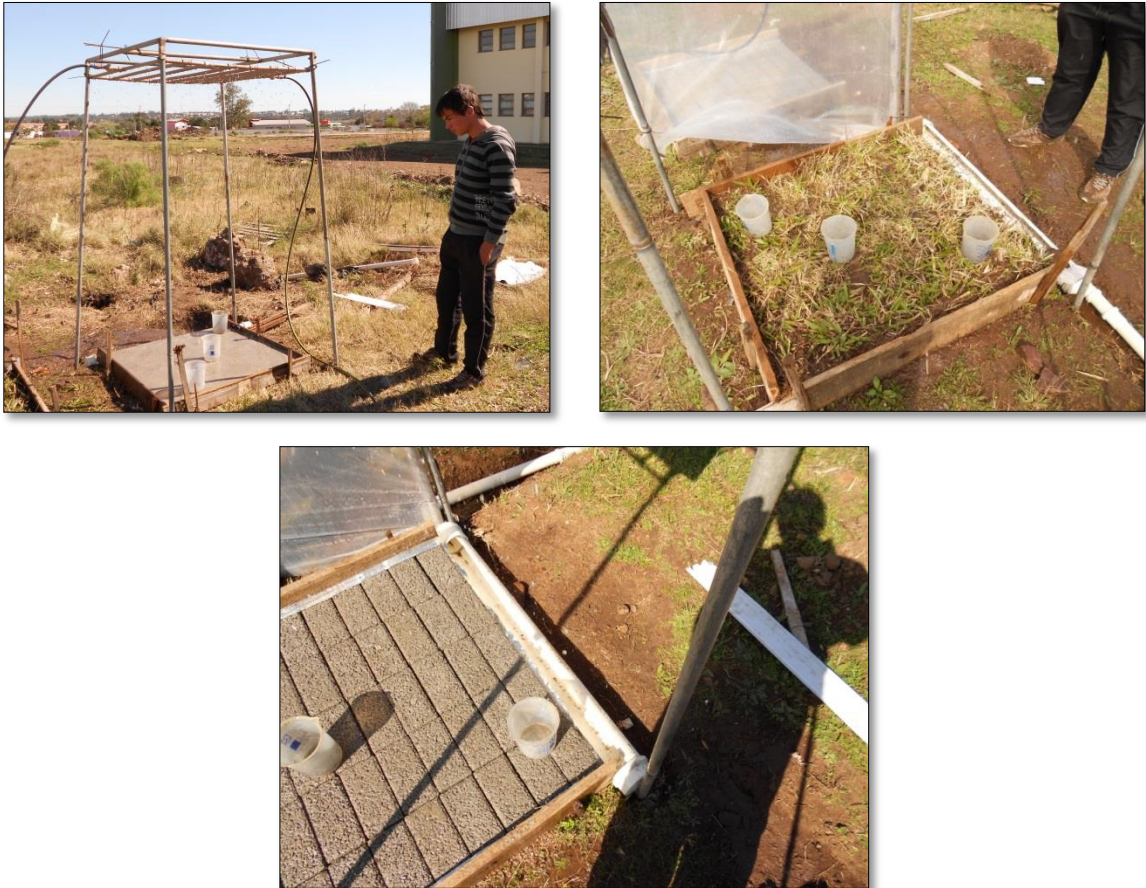
Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), afirmam que os pavimentos permeáveis não apenas mantêm as condições originais de escoamento superficial, mas podem reduzir o escoamento praticamente a zero, dependendo das condições antecedentes e da capacidade do reservatório de pedras. Ainda afirma o referido autor, que estes dispositivos são altamente recomendados para o controle dos volumes escoados.

A superfície gramada (Figura 21) gerou o menor escoamento dentre as superfícies estudadas, comprovando que a remoção/substituição da vegetação aumenta o escoamento, pois, o solo perde a superfície que auxilia na infiltração das águas provenientes das chuvas, e sua substituição afeta fatores como a rugosidade da camada superficial, que na superfície gramada ajuda no controle da velocidade dos escoamentos, diferentemente do concreto, que nos ensaios notadamente apresentou rápido escoamento, devido a sua baixa rugosidade.

Vale ressaltar que é visível, a capacidade de infiltração da grama, pois, nos testes observou-se que a água passava pela camada de grama, funcionando como um filtro, reduzindo o escoamento. Moura (2005), em seus experimentos verificou o alto valor de infiltração da superfície gramada. Maus, Righes e Buriol (2005) citam que além de diminuir o escoamento superficial a cobertura vegetal reduz a temperatura do ar quando comparado com aquela de pisos de concreto e asfalto.

Cabe salientar que a grama possuía desnível de 2%, mas mesmo assim era possível perceber o acúmulo de água devido a imperfeições da superfície gramada. É provável, que este fato possa ter alterado, minimamente, os resultados obtidos. A Figura 22 representa um apanhado geral dos ensaios de escoamento, realizados nas diferentes superfícies.

Figura 22 - Ensaio de escoamento, nas diferentes superfícies

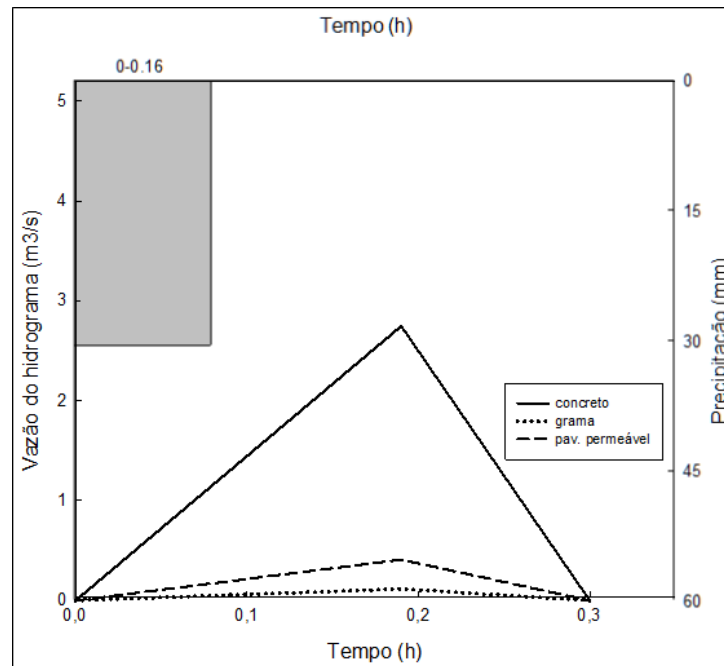


Fonte: Autor

#### 4.5 Hidrogramas simulados

A Figura 23 representa os hidrogramas unitários sintéticos, obtido para cada tipo de superfície, para uma bacia hidrográfica fictícia de 10 hectares, com relação comprimento: largura de 2:1 e declividade média de 5%. Também pode-se observar na Figura 23, a intensidade de chuva que gerou o escoamento, nas diversas bacias hidrográficas simuladas.

Figura 23 - Hidrograma unitário, para os diferentes tipos de superfícies



Fonte: Autor

Observando a Figura 23, percebe-se a grande influência que cada tipo de cobertura possui, sobre a vazão gerada. A superfície de concreto gera uma vazão vinte vezes maior que o pavimento permeável que proporciona o segundo maior valor de vazão do hidrograma. Esta verificação só comprova o que muitos autores já observaram, que a utilização deste tipo de superfície impermeável, aumenta o escoamento superficial e reduz a infiltração da água no solo.

Quanto ao pavimento permeável, observa-se que sua utilização pode ser uma alternativa altamente recomendada, pois reduz consideravelmente a vazão do hidrograma, contribuindo para diminuir a intensidade do escoamento superficial, retardando o tempo da vazão das águas pluviais a montante e a tentativa da devolução ao solo das condições existentes antes da urbanização. A superfície gramada apresenta o menor valor de vazão, reafirmando sua importância para a manutenção das propriedades existentes antes do adensamento urbano. Em comparação dos valores de vazão, a superfície gramada apresenta uma vazão três vezes menor que o pavimento permeável. Através destas análises nota-se a importância da manutenção e criação de áreas verdes nas cidades, tanto para redução do escoamento e aumento da infiltração e bem estar da população em geral.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

### 5.1 Considerações finais

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a possibilidade de implantação dos pavimentos permeáveis do tipo infiltração total em Alegrete/RS, para a redução do escoamento superficial. Os ensaios realizados tiveram foco, em descobrir a capacidade de infiltração do solo em estudo, análise granulométrica do solo (textura) e verificação do escoamento superficial em três tipos de superfícies.

Após os ensaios, constatou-se que capacidade de infiltração do solo é o grande empecilho para a implantação dos pavimentos permeáveis do tipo infiltração total, onde toda a água do reservatório tem que infiltrar no solo, pois, o solo possui baixa capacidade de infiltração. Este fator conduz a possibilidade de utilização de pavimentos permeáveis com drenos, não dependendo exclusivamente de infiltração no solo.

Quanto aos tipos de superfícies, os blocos de concreto permeável reduzem o escoamento de forma considerável cumprindo com seu objetivo de utilização, que é a redução do escoamento superficial e a tentativa de devolução ao solo de sua capacidade de infiltração. A superfície de concreto gera volumes elevados de escoamento, provando que a impermeabilização das cidades com concreto ou asfalto, aumenta o escoamento sendo responsável em diversos casos pelas inundações urbanas e pela necessidade de criação/aumento das redes de drenagem pluvial.

A superfície gramada apresentou os resultados mais satisfatórios de escoamento, comprovando que sua remoção é prejudicial às cidades, pois, há o aumento do escoamento superficial e elevação das temperaturas nas cidades. Contudo, há de se frisar, que no mundo atual, onde cada vez as pessoas possuem menos tempo para ter um gramado/jardim, com isto, os pavimentos permeáveis surgem como uma excelente alternativa, pois, não necessitam de cuidados especiais como a grama (corte, irrigação, limpeza). Sua utilização resulta em maior praticidade, podem ser utilizados em calçadas de casas, passeios públicos ou grandes estacionamentos de shopping centers, supermercados, etc.

Para a cidade de Alegrete/RS, embora a taxa de infiltração básica seja inferior a indicada para implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total, o uso destas superfícies é recomendável, uma vez que reduziu o escoamento em vinte vezes, quanto

comparado a superfícies de concreto. Também recomenda-se o uso de superfícies gramadas para redução do escoamento pluvial.

Cabe ressaltar que foi realizado o ensaio de infiltração em apenas um local na cidade, sabe-se através de moradores e pessoas da construção civil, que por experiência afirmam que na cidade há variação no tipo de solo e profundidade, dependendo do local. Segundo eles, há locais onde há rocha aflorando, assim como há lugares de elevada profundidade onde não se encontra rocha firme.

## **5.2 Recomendações futuras**

O estudo foi realizado em apenas uma área, e sabe-se através de informações de moradores e pessoas da construção civil, que na cidade, em estudo, há variação no tipo de solo e profundidade do perfil, dependendo do local. Segundo estes, há locais onde há rocha aflorando, assim como há lugares de elevada profundidade onde não se encontra rocha firme. Deste modo, sugere-se para trabalhos futuros a repetição deste experimento em área com características de solo diferentes as estudadas.

Os resultados observados recomendam a utilização de pavimentos permeáveis e grama para cobertura das superfícies. Assim, poderia-se prosseguir com estudos de intenção de utilização dos pavimentos em Alegrete, através de pesquisa com moradores e incentivos pelo poder público para sua implantação. Sugerir que o poder público fomente a implantação dos pavimentos com redução dos impostos (IPTU), para os cidadãos que acolherem a ideia. Assim como fornecer pessoal qualificado para a execução do pavimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Porto Alegre, 2002. Disponível em:< <http://hdl.handle.net/10183/5843>>>. Acesso em: 05 nov. 2012, 10:20:45.

ALEGRIA, Manuela. **Pavimento permeável: solução sustentável para a redução de enchentes**. Revista Meio Ambiente. Disponível em:< <http://www.revistameioambiente.com.br/2011/03/17/pavimento-permeavel-solucao-sustentavel-para-a-reducao-de-enchentes/>>. Acesso em: 25 jan. 2012, as 13:34:10.

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v.3, n.1, p. 139-156, 2006.

ARAÚJO, Paulo R.; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 5 n.3 Jul/Set 2000, 21-29. Porto Alegre, 1999.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**.vol.1, 6 ed. Rio de Janeiro:LTC, 2011.

CASTRO, Jary et al. **Guia prático para a construção de calçadas**.2ª edição. Mato grosso do sul. 2010.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre, 2008. Disponível em:< <http://pt.scribd.com/doc/43435101/Apostila-Hidrologia>>. Acesso em: 10 fev. 2013, as 17:00:36.

DIAZ, Fernanda Spitz; ANTUNES, Patrícia Tainá da Silva Corrêa. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. Rio de janeiro, 2010. Disponível em:< <http://monografias.poli.ufrj.br/pesquisae.php?fcampo=titulo&fnome1=Estudo+comparativo+de+projeto+de+drenagem+convencional+e+sustent%C3%A1vel+para+controle+de+escoamento+superficial+em+ambientes+urbanos&fnome2=&fnome3=&fnome4=>>>. Acesso em: 30 nov. 2012, as 16:01:56.

GARCEZ, Lucas. Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2ª edição, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1988.

HOLTZ, Antonio Carlos Tatit. Precipitação. In: Pinto Nelson de Sousa. **Hidrologia básica**. São Paulo:Editora Blucher, 1976. p.7-35.

IBGE, **Censo Demográfico 2010: Sinopse do censo e resultados preliminares do universo**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:<

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2012, 22:50:20.

MAUS, Victor Wegner; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. **I Simpósio de recursos hídricos do norte e centro-oeste**, Santa Maria, 2005.

MOURA, Thales Augustus Moreira. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos**. Brasília, 2005. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=144377](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=144377)>. Acesso em: 31 out. 2012, 16:44:45.

PARKINSON, Jonathan et al. **Drenagem urbana sustentável no Brasil**. Relatório do workshop em Goiânia-GO, 2003. Disponível em: <[http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs\\_resid\\_solidos/drenagem\\_urbana\\_no\\_Brasil-workshop\\_relatorio081003.pdf](http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs_resid_solidos/drenagem_urbana_no_Brasil-workshop_relatorio081003.pdf)>. Acesso em 13 nov. 2012, as 13:40:20.

PINTO, Nelson de Sousa et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Editora Blucher, 1976. p.7-35.

POMPÊO, Augusto Cesar. **Drenagem urbana sustentável**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n.1, p.15-23, Jan./Mar. 2000.

PORTO, Rubem La Laina et al. **Hidrologia aplicada**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999. Disponível em: <[https://www.google.com.br/?gws\\_rd=cr&ei=b-8tUpKDLfjl4AOs4YCIDQ#q=O+hidrograma+unit%C3%A1rio+%C3%A9+um+hidrograma+de+escoamento+superficial+direto%2C+onde+a+%C3%A1rea+sob+esta+curva+corresponde+a+um+volume+unit%C3%A1rio+de+escoamento+superficial+direto%2C+resultante+de+uma+chuva+efetiva+com+intensidade+e+dura%C3%A7%C3%A3o+unit%C3%A1rias](https://www.google.com.br/?gws_rd=cr&ei=b-8tUpKDLfjl4AOs4YCIDQ#q=O+hidrograma+unit%C3%A1rio+%C3%A9+um+hidrograma+de+escoamento+superficial+direto%2C+onde+a+%C3%A1rea+sob+esta+curva+corresponde+a+um+volume+unit%C3%A1rio+de+escoamento+superficial+direto%2C+resultante+de+uma+chuva+efetiva+com+intensidade+e+dura%C3%A7%C3%A3o+unit%C3%A1rias)>.

PRUSKI, Fernando Falco et al. **Escoamento superficial**. 2ª edição. Vicoso/MG:UFV, 2004.

RIBEIRO, Bruno Teixeira et al. **Calibração e uso de minissimulador de chuva para estudos de erosão e poluição do solo**. Lavras MG: UFLA, 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/76459519/Simulador-de-Chuva-01>>. Acesso em: 15 fev. 2013, as 10:05:45.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções: áreas de risco no Brasil**. 1ª edição. São Paulo: PINI, 2012.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Drenagem urbana: aspectos de gestão**. 1ª edição. Porto Alegre, 2002.



SOARES, Fátima Cibele. **Hidrologia**. 2012. Notas de aula.

SOUZA, Manoel Dornelas. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14520/1/documentos37.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013, as 18:24:39.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3006>>>. Acesso em: 05 dez. 2012, as 17:25:13.

STRECK, Edmar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª edição. Porto Alegre: Emater/RS, 2008.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Água no meio urbano**. Porto Alegre, 1997. Disponível em: <[http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs\\_resid\\_solidos/aguanomeio%20urbano.pdf](http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs_resid_solidos/aguanomeio%20urbano.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2012, 14:10:14.

\_\_\_\_\_. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume .5, n. 1, p.61-68, Jan./Mar. 2000. Disponível: <<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=115&t=COEFICIENTE+DE+ESCOAMENTO+E+VAZ%C3O+M%C1XIMA+DE+BACIAS+URBANAS>>. Acesso em: 10 dez. 2012, 15:01:20.

\_\_\_\_\_. **Inundações e drenagem urbana**. In: SILVEIRA et. al. **Inundações urbanas na América do sul**. Porto Alegre, 2003. p.11-44. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE\\_Tucci/INUNDACOES\\_URBANAS.pdf](http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE_Tucci/INUNDACOES_URBANAS.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2012, as 22:45:00.

\_\_\_\_\_. **Curso de gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE\\_Tucci/GESTAO\\_INUNDACOES.pdf](http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE_Tucci/GESTAO_INUNDACOES.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012, 10:47:15.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p.

VIRGILLIS, Afonso Luis Corrêa de. **Procedimentos de projeto de execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/pt-br.php>>. Acesso em: 12 dez. 2012, as 15:01:15.