

VINICIUS PICHARILLO MASSONI

**VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA
CIDADE DE SÃO CARLOS**

SÃO CARLOS

2019

VINICIUS PICHARILLO MASSONI

VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA CIDADE DE SÃO CARLOS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Elaine Rodrigues Ribeiro

SÃO CARLOS

2019

“Dedico este Trabalho de conclusão de curso aos meus avós Olga e Iranes (in memoriam), cuja presença foi essencial na minha vida.”

AGRADECIMENTOS

Grato ao universo, a minha família e a todos em minha volta que contribuíram e contribuem para o meu sucesso.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

Robert Collier

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 PAVIMENTOS	15
2.2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	17
2.2.1 BASES E SUB-BASES FLEXÍVEIS E SEMIRRÍGIDAS	17
2.2.1.1 BASES E SUB-BASES GRANULARES.....	18
2.2.1.2 BASES E SUB-BASES ESTABILIZADAS (COM ADITIVOS)	18
2.2.2 REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS	20
2.2.2.1 REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS BETUMINOSOS	20
2.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	22
2.3.1 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO COMPOSIÇÃO	23
2.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	27
2.5 DOMÍNIO DE APLICAÇÃO.....	28
2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	28
2.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	29
2.7.1 ESTUDOS COMPLEMENTARES	30
2.7.2 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	31
2.7.3 CARACTERÍSTICAS DO SOLO SUBJACENTE	32
2.7.4 ÁREA DE DRENAGEM - BACIA HIDRÁULICA	33
2.7.5 DIVISOR DE ÁGUAS	33
2.7.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	34
2.7.6.1 CHUVA DE PROJETO E VAZÃO DE PROJETO.....	34
2.7.6.2 MÉTODO CURVA ENVELOPE	38
3 MATERIAIS E MÉTODO.....	41

3.1	MÉTODO	41
3.2	MATERIAL	42
3.2.1	DETERMINAÇÃO DA ÁREA CRÍTICA.....	42
3.2.2	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CHUVAS INTENSAS DE SÃO CARLOS	45
3.2.2.1	PARÂMETROS DE CÁLCULO DE CHUVAS INTENSAS DE SÃO CARLOS PELOS DADOS DO DAEE46	
3.2.3	DETERMINAÇÃO DA ÁREA DA BACIA HIDRÁULICA	47
3.2.4	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DA ÁREA CRÍTICA.....	48
3.2.5	VAZÃO DE CHEIA.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	CHUVA DE PROJETO.....	52
4.2	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO POROSO	52
4.2.1	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO COM RESERVATÓRIO POROSO	52
5	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS.....	58

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM EVENTO SEVERO DE PRECIPITAÇÃO	11
FIGURA 2 MAPA HIDROGRÁFICO DA BACIA DO RIBEIRÃO MONJOLINHO	12
FIGURA 3 DISTRIBUIÇÃO DE CARGA NOS PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS	15
FIGURA 4 CLASSIFICAÇÃO DAS BASES E SUB-BASES FLEXÍVEIS E SEMIRRÍGIDAS	16
FIGURA 5 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS	20
FIGURA 6 TRATAMENTO SUPERFICIAL SIMPLES POR PENETRAÇÃO INVERTIDA	20
FIGURA 7 DEMONSTRAÇÃO DA PERMEABILIDADE DA CPA	22
FIGURA 8 PAVIMENTO POROSO ASFÁLTICO (CPA)	23
FIGURA 9 PAVIMENTO EM CONCRETO POROSO E SUA DEMONSTRAÇÃO DE PODER DE INF	24
FIGURA 10 PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCOS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO	25
FIGURA 11 DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTO	26
FIGURA 12 FLUXOGRAMA PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE	30
FIGURA 13 PARA TERRENOS COM DECLIVIDADE SIGNIFICATIVA	30
FIGURA 14 REPRESENTAÇÃO DE UMA BACIA HIDRÁULICA	32
FIGURA 15 REPRESENTAÇÃO DE UM DIVISOR DE ÁGUAS	33
FIGURA 16 TEMPO DE RETORNO	34
FIGURA 17 METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVAS DE VAZÕES DE ENCHENTES	35
FIGURA 18 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA DIFERENTES USOS	36
FIGURA 19 COEFICIENTE DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CHUVA	37
FIGURA 20 DISPOSITIVOS DRENANTES E SUAS FÓRMULAS DE DIMENSIONAMENTO	39
FIGURA 21 ÁREA DE PESQUISA	41
FIGURA 22 RUA DONA ALEXANDRINA EM CONDIÇÃO NORMAL E DURANTE PRECIPITAÇÃO	42
FIGURA 23 CÓRREGO DO GREGÓRIO EM CONDIÇÃO NORMAL E DURANTE PRECIPITAÇÃO	42
FIGURA 24 RUA EPISCOPAL EM CONDIÇÃO NORMAL E DURANTE PRECIPITAÇÃO	43
FIGURA 25 CALÇADÃO DA RUA GENERAL OSORIO	43
FIGURA 26 PREVISÃO DE MÁXIMAS INTENSIDADES DE CHUVAS EM MM/H DE S. CARLOS	45
FIGURA 27 PREVISÃO DE MÁXIMAS ALTURAS DE CHUVAS EM MM/H DE S. CARLOS	45
FIGURA 28 CURVAS IDF DE SÃO CARLOS	46
FIGURA 29 LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO GREGÓRIO EM S. CARLOS	47
FIGURA 30 CLASSES DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA DO GREGÓRIO	47
FIGURA 31 SIMULAÇÃO DA ÁREA INUNDADA	48
FIGURA 32 PROFUNDIDADES DE TUBULAÇÕES EXISTENTES DO SAAE	48
FIGURA 33 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SENTIDO DO FLUXO D'ÁGUA	49

TABELA 1 COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE MATERIAL PARA A CAMADA SUPERFICIAL	25
TABELA 2 ALTRA DO RESERVATÓRIO EM RALAÇÃO AO TEMPO DE RETORNO	52

RESUMO

VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA CIDADE DE SÃO CARLOS

Primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica sobre os tipos de pavimentos e métodos dimensionais. Foi feito um levantamento bibliográfico sobre a situação da cidade, como e o porquê ocorre inundações no centro da cidade de São Carlos. Foi demarcado a área crítica para a solução do problema e através dos métodos dimensionais foi traçado uma possível resolução do problema, calculado e apresentado os resultados, obtendo um possível sucesso na resolução do problema.

Palavras-chave: Enchentes; retenção de escoamento superficial na fonte; Sub-Bacia do Gregório, São Carlos.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a urbanização nas cidades brasileiras foi mais intensa no entorno de corpos d'água. O uso irregular do solo às margens de rios pode desencadear um processo de degradação contínua ocasionado pela ausência ou escassez de saneamento básico e de alterações físicas e hidrológicas nos leitos dos rios e áreas ribeirinhas (GORSKI, 2008).

De acordo com Tucci (2007), as enchentes em áreas urbanas são consequência de dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada. Um seria pela urbanização de áreas ribeirinhas, por falta de planejamento do uso do solo, e que é um processo natural de um rio. E outro as enchentes pela urbanização, que ocorrem pela impermeabilização do solo, através de telhados, ruas e calçadas.

Quando há eventos chuvosos extremos (chuvas torrenciais) nas áreas urbanas, há um grande escoamento devido à impermeabilização do solo, agravando as enchentes em áreas ribeirinhas (Foto 1). Com a intenção de deprimir a vazão a jusante, há meios de aumentar a permeabilidade do solo urbano usando materiais permeáveis nas vias de transporte.

Apesar de seus benefícios, a introdução de pavimentos permeáveis na malha urbana é um processo complexo, pois há outras questões a serem desenvolvidas, como o custo de aplicação e de manutenção, a resistência do pavimento, visto que nas ruas de São Carlos não há bloqueios de veículos pesados em suas vias urbanas, e como o solo das vias trabalha com a permeabilidade, prevendo possíveis erosões.

Figura 1 Escoamento superficial em evento severo de precipitação.



FONTE: ESCRIVANI, 2018.

1.1 JUSTIFICATIVA

A reflexão acerca de melhora da atual estrutura de drenagem nas regiões centrais da cidade de São Carlos se torna necessário pois os problemas constantes de enchentes preocupam os moradores e lojistas locais (Figura 1), afugentando investimentos e o crescimento da cidade. O cenário presente evidencia anos de falta de planejamento adequado do sistema de drenagem, com o agravante da demanda populacional crescente resultando o descuido com a impermeabilização do solo. O Córrego do Gregório (Figura 2) sobrecarregado, onde necessita de uma maior abertura da seção na região próxima do bairro parque Faber, impossibilitado pela ferrovia, onde ocorre todo o escoamento da bacia do Ribeirão Monjolinho

NBR16416 (ABNT, 2015), obedecendo os critérios e propriedades físicas apresentados pela norma.

Estudar novas tecnologias do mercado de pavimento drenante, visando a sustentabilidade e o meio ambiente, com a finalidade de aumentar o abastecimento natural dos aquíferos presentes no solo da região de São Carlos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTOS

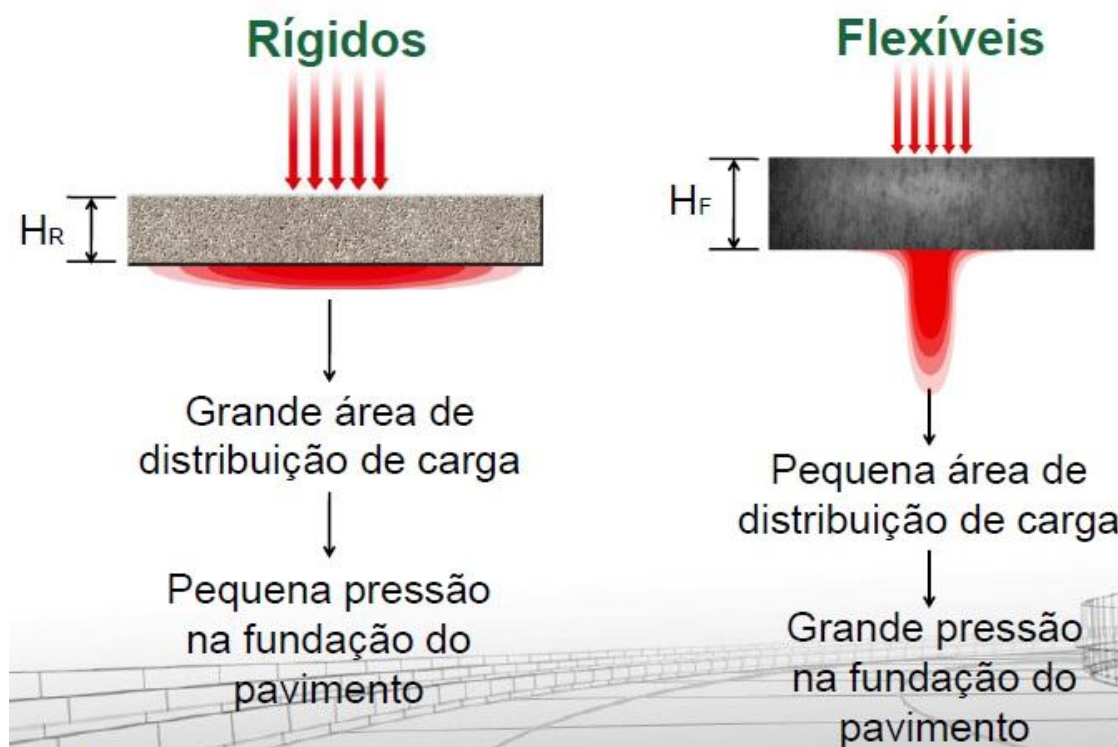
Pavimento é um termo genérico para qualquer superfície horizontal com finalidade de suportar tráfego.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006), o pavimento de uma via baseia-se em uma estrutura em camadas de certos limites de espessura com o objetivo de superar e distribuir os esforços verticais provenientes dos veículos, melhorando o conforto e segurança. As camadas são divididas em subleito, reforço de subleito, sub-base, base e revestimento.

Segundo o Glossário de termos técnicos rodoviários (DNIT, 2017) são definidos em:

- Subleito: maciço de terra que serve de fundação para o pavimento ou revestimento;
- Reforço de subleito: camada granular do pavimento executada com o objetivo de melhorar a capacidade de carga do subleito e de reduzir espessura da sub-base;
- Sub-base: camada corretiva do subleito e complementar à base, com as mesmas funções, e executada quando, por razões econômicas, se favorável reduzir a espessura de base;
- Base: camada destinada a resistir aos esforços verticais provenientes dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento;
- Revestimento: camada mais acima do pavimento, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais dos veículos, e destinada a melhorar as condições do rolamento quando ao conforto e segurança.

Figura 3 Distribuição de carga nos pavimentos rígidos e flexíveis.



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2010).

Na Figura 3 nota-se a diferença da distribuição de carga de pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis. Enquanto o pavimento rígido tem uma maior distribuição de carga horizontalmente aliviando a pressão na fundação do pavimento e enquanto o pavimento flexível há pouca distribuição de carga, com a fundação do pavimento sofrendo uma maior pressão. A seguir abordaremos principalmente os pavimentos flexíveis e suas principais divisões.

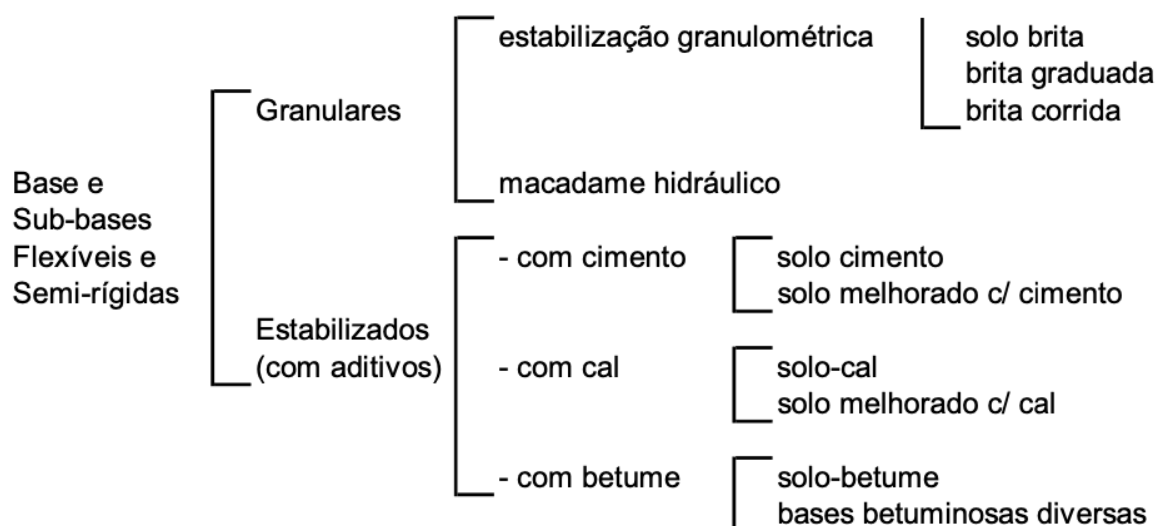
2.2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

“Aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhos, revestida por uma camada asfáltica.” (DNIT, 2006, p. 95).

2.2.1 BASES E SUB-BASES FLEXÍVEIS E SEMIRRÍGIDAS

As bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas podem ser classificadas com o seguinte infográfico.

Figura 4 Classificação das Bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas



Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

2.2.1.1 Bases e Sub-bases Granulares

a) Estabilização Granulométrica

Quando o agregado local não tem estabilidade satisfatória e a combinação de agregados importados poderá corrigir a estabilidade do agregado local, chegando à estabilidade desejada, para por exemplo segundo Crispim (2015), as seguintes finalidades:

- Aumentar a resistência, inclusive a deformação, sob efeito de carregamento contínuo e repedido.
- Reduzir a compressibilidade
- Reduzir a sensibilidade à ação de variações externas, principalmente a umidade.
- Aumentar ou reduzir a permeabilidade
- Reduzir a sensibilidade à ação do congelamento
- Garantir permanência dessas propriedades ao longo do tempo

b) Macadame Hidráulico

De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) macadames hidráulicos é a camada granular composta por agregados graúdos, naturais ou britados, preenchidos por agregados miúdos e aglutinados pela água, cuja estabilidade é obtida pela ação mecânica de compressão

2.2.1.2 Bases e Sub-bases Estabilizadas (Com aditivos)

De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) as bases e sub-bases com aditivos tem os processos construtivos semelhante às granulares, exceto alguns detalhes.

a) Solo-cimento

Uma mistura de solo, cimento Portland e água. Satisfazendo requisitos de densidade, durabilidade e resistência, resultando um material rígido. O Teor de cimento usualmente é em ordem de 6% a 10%.

b) Solo Melhorado com Cimento

Modalidade considerada flexível, com a adição de cimento de 2% a 4%, com a finalidade a modificação da plasticidade e sensibilidade à água.

c) Solo-cal

Mistura de solo, cal e água. Com um teor de cal mais frequente de 5% a 6%, às vezes é adicionado cinza volante formando um material pozolânico artificial. A estabilização ocorre:

- Pela sua plasticidade e sensibilidade à água pela modificação do solo.
- Cimentação fraca por carbonatação.
- Cimentação forte por pozolanização.

d) Solo-betume

Mistura de solo, água e material betuminoso. Considerada uma mistura flexível.

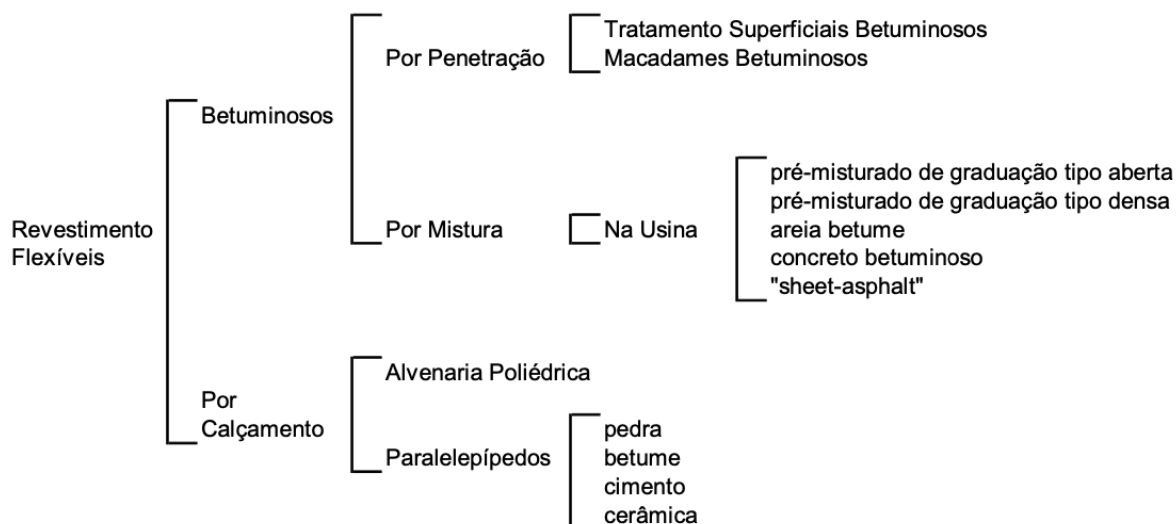
e) Bases Betuminosas Diversas

Iguais as técnicas construtivas e materiais empregados em revestimentos betuminosos.

2.2.2 Revestimentos Flexíveis

Os revestimentos flexíveis podem ser agrupados como esquema a seguir.

Figura 5 Classificação dos revestimentos



Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Em foco aos Pavimentos Betuminosos, as características principais são:

2.2.2.1 Revestimentos Flexíveis Betuminosos

Os revestimentos são compostos por agregados e materiais betuminosos. De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) esta associação pode ser feita de duas maneiras: por penetração e por mistura.

A) Revestimento por Penetração

Envolve dois tipos distintos: por penetração invertida e por penetração direta.

- **Revestimentos Betuminosos por Penetração Invertida**

São executados com uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida(s) com um número idêntico de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com uma granulometria específica ao

local. O número de camadas se reflete ao tratamento superficial simples(ver Foto 6), duplo ou triplo.

Figura 6 Tratamento superficial simples por penetração invertida



Fonte: ROBERT, 2014.

O tratamento simples presente na figura 6, executado principalmente para a impermeabilização ou para texturizar um pavimento existente, é denominado de capa selante.

- **Revestimentos Betuminosos por Penetração Direta**

Revestimentos executados diante do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria e quantidades especificadas, após compactação, cada camada recebe a aplicação do material betuminoso e na ultima camada é aplicada agregado miúdo para a finalização. O Macadame Betuminoso é um revestimento típico por penetração direta.

B) Revestimentos por Mistura

Neste tipo de revestimento, o processo de produção dos revestimentos betuminosos por mistura envolve o agregado com o material betuminoso, antes da compressão.

Quando se faz a mistura em uma usina fixa, resultam os “Pré-misturados Propriamente Ditos” e, quando feito no local chamam de Pré-misturados na Pista” (*road mixes*)

Conforme os processos construtivos acima, são denominados também as seguintes designações:

- **Pré-misturado a Frio** – Quando os agregados e ligantes utilizados, permitem que a aplicação seja feita à temperatura ambiente,
- **Pré-misturados a Quente** – Quando o agregado e o ligante são misturados e aplicados na via ainda quentes.

2.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Um pavimento permeável é constituído por uma camada de agregado fino e outra camada de agregado graúdo, que possibilita um material mais poroso que os demais. De acordo com pavimentos permeáveis, Ferguson (2005) apud Gonçalves; Oliveira (20014), p. 01 destaca que:

“Pavimentos permeáveis são definidos como sendo aqueles que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água pode escoar, podendo infiltrar no solo ou ser transportada através de sistema auxiliar de drenagem. Este tipo de pavimento busca reduzir o volume de água referente ao escoamento superficial e, por consequência, reduzir a solicitação do sistema de drenagem urbana e a probabilidade de enchentes. Como efeitos complementares, tem-se a melhora da qualidade de água infiltrada por carrear menor quantidade de poluição difusa e a contribuição para a recarga.”

2.3.1 Classificação segundo composição

De acordo com a sua composição, os pavimentos permeáveis podem ser classificados:

a) Pavimento de Asfalto poroso

O revestimento asfáltico é composto de forma similar às convencionais (Item 2.2.2.1) mas com uma retirada de fração de areia fina, comumente chamada de graduação aberta da mistura dos agregados do pavimento. Conhecido como “Camada Porosa de Asfalto” (CPA). Essa mistura asfáltica pode conter de 18% a 25% de vazios, permitindo rápida infiltração da água. O CPA também apresenta um aumento da aderência pneu-pavimento e a redução de ruído (Bernucci et. Al., 2008).

Figura 7 - Demonstração da permeabilidade da CPA



Fonte: GONÇALVES, 2014.

Figura 8 - Pavimento poroso asfáltico (CPA)



Fonte: ACIOLI, 2005.

b) Pavimento de concreto poroso

O concreto poroso é também preparado de forma similar aos pavimentos convencionais, retirando os agregados finos, que no caso é basicamente a areia, dando a eles a porosidade necessária para a infiltração de água (Urbonas e Stahre, 1993)

O concreto poroso tem uma resistência relativamente baixa, com valores à compressão de 20 a 30Mpa. Por isso, o material é indicado para locais onde será submetido a baixas tensões, tais como calçadas, quadras e estacionamentos (Nader, 1995 apud Yang; Jiang, 2003).

Novas pesquisas têm estudado o uso com agregados selecionados com adições de minerais finos e intensificadores orgânicos para aumentar sua resistência à compressão de 50Mpa e resistência à tração de 6Mpa (Yang; Jiang, 2003). A porosidade do concreto poroso pode variar de 18 a 22%, e permeabilidade no intervalo de 0,8 a 1,8cm/s (Azzout et al. 1994).

Figura 9 - Pavimento em concreto poroso e sua demonstração de poder de infiltração.

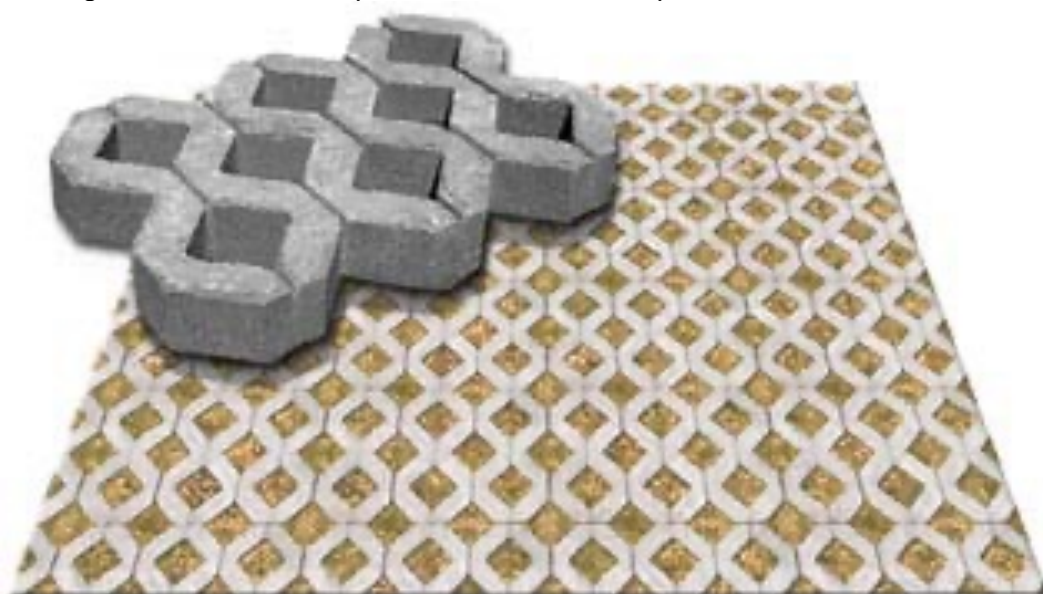


Fonte: ACIOLI, 2005.

c) Blocos vazados intertravados de concreto

Os blocos vazados intertravados possuem aberturas em sua estrutura, que possibilita que a água penetre para dentro do reservatório (Figura 10). O concreto usado para os blocos é o concreto convencional impermeável, ou seja, com adição de agregados finos (areia) em sua composição.

Figura 10 - Pavimento permeável com blocos pré-moldados de concreto.



Fonte: ACIOLI, 2005.

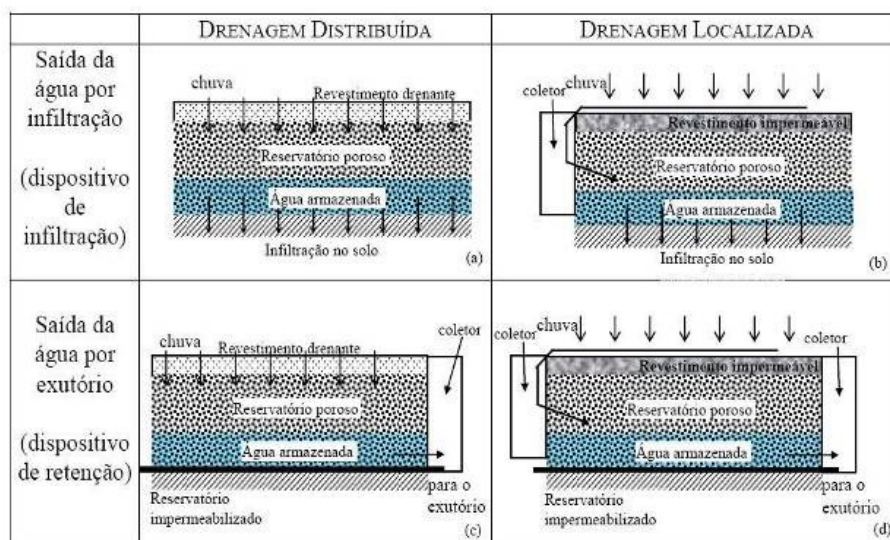
Na tabela 1, há um comparativo dos diferentes tipos de revestimento para pavimentos permeáveis.

Tabela 1 - Comparativo entre os tipos de material para a camada superficial.

MATERIAL CRITÉRIOS /	SOLO NATURAL	BLOCOS VAZADOS	ASFALTO POROSO	CONCRETO POROSO	REVESTIMENTO IMPERMEÁVEL
TIPOS DE USO	PRAÇAS, ESTACIONAMENTOS, VIAS DE PEDESTRES, QUADRAS ESPORTIVAS	PRAÇAS, ESTACIONAMENTOS, VIAS DE PEDESTRES	TODOS OS USOS, DESDE QUE COM ESTRUTURA REFORÇADA	TODOS OS USOS, DESDE QUE COM ESTRUTURA REFORÇADA	TODOS OS USOS
CAPACIDADE DE ABSORÇÃO	VARIA DE ACORDO COM O SOLO	MÉDIA	BOA	BOA	NULA
ASPECTO VISUAL	RÚSTICO	BOM, POSSIBILIDADE DE VARIAÇÃO DE CORES	SEMELHANTE AO ASFALTO COMUM	SEMELHANTE AO CONCRETO COMUM	/
PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO	6 MESS	6 MESES A 1 ANO	VARIA DE ACORDO COM O USO (6 MESES A 2 ANOS)	6 MESES A 2 ANOS	DEPENDE DO LOCAL
CUSTO DE IMPLANTAÇÃO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO
CUSTO DE MANUTENÇÃO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO ALTO	MÉDIO ALTO	BAIXO
RESISTÊNCIA/ ARRANCAMENTO	MEDÍOCRE	BOA	MÉDIO	MÉDIO A BOA	BOA
ADERENCIA	BAIXA	MÉDIA	MUITO BOA	BOA	BOA
ACÚSTICA	RUIM	MÉDIA	BOA	BOA	MÉDIO
RETENÇÃO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS	NÃO PESQUISADO	MUITO BOA	MUITO BOA	MUITO BOA	MUITO BOA
RETENÇÃO DE METAIS PESADOS DISSOLVIDOS	NÃO PESQUISADO	MUITO BOA	MUITO BOA	MUITO BOA	BAIXA

FONTE: ACIOLI, 2005.

Figura 11 - Diferentes tipos de pavimento



ACIOLI, 2005.

2.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Cada um desses diferentes tipos de pavimentos apresenta estrutura específica quanto a sua utilização.

Quanto a camada superficial, o revestimento pode ser impermeável, no caso de pavimentos convencionais novos, construídos em concreto de cimento Portland ou concreto asfáltico; semipermeável no caso de pavimentos em paralelepípedos, calçamento poliédrico ou blocos de concreto, e, por fim, permeável, em concreto asfáltico poroso tipo CPA, peças pré-moldadas de concreto poroso e blocos de concreto vazados.

A estrutura do pavimento não é muito diferente dos pavimentos clássicos, sendo geralmente constituída de brita e ligante. O volume de vazios desempenha papel importante para a determinação da capacidade de armazenamento.

A interface da estrutura do pavimento com o subleito ou solo adjacente deve ser realizada por meio da implantação de mantas geotêxtis adequadas quando o objetivo é assegurar a não colmatção da estrutura e garantir a função de infiltração.

Quando se objetiva a estanqueidade, como no caso de reservatórios, não deve haver interface da estrutura com o subleito, podendo ser utilizadas geomembranas ou lençóis plásticos de espessura adequada que impedem a infiltração d'água.

2.5 DOMÍNIO DE APLICAÇÃO

Não pode colocar em perigo a estabilidade e a durabilidade do pavimento quando utilizado a pavimentação permeável. Deve-se limitar o seu campo de aplicação tendo em vista o tráfego o qual ele irá suportar, Tabela 1.

Esse tipo de pavimento deve, portanto, ser utilizado em locais de tráfego leve, e em locais onde não existe tráfego de veículos pesados (Febestral, 2005).

Podem-se descrever pátios industriais, estacionamentos, ruas residenciais, ruas para pedestres, praças, terraços, centros comerciais, ciclovias, entre outros, como locais para aplicação do pavimento permeável.

2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS

As estruturas de infiltração, de uma maneira geral. Possuem certas vantagens em relação aos demais sistemas de drenagem. (Acioli, 2005) sud Ciria (1996) lista os principais:

- A infiltração reduz o volume total de água que escoaria na rede de drenagem, diminuindo o risco de inundação nos sistemas a jusante.
- Os dispositivos de infiltração podem ser usados onde não haja rede de drenagem que possa absorver o escoamento proveniente do empreendimento;
- Ao controlar o escoamento superficial na fonte, os dispositivos de infiltração reduzem os impactos hidrológicos da urbanização;
- Por não sobrecarregarem a rede de drenagem, os dispositivos de infiltração evitam a ampliação da rede;
- A infiltração pode ser usada para aumentar a recarga do aquífero quando a qualidade do escoamento superficial não comprometer a qualidade da água subterrânea;
- A construção dos dispositivos de infiltração é normalmente simples e rápida;

- Os custos em toda a sua vida útil podem ser menores que em outros sistemas de drenagem.

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

- O tratamento de água proveniente da chuva, através da remoção de poluentes;
- Diminuição do meio-fio e outras estruturas de drenagem;
- Dependendo do tipo de pavimento (ver tabela 1) aumento da segurança e conforto das vias por conta da diminuição de derrapagens e ruídos;
- É um dispositivo de drenagem que se adapta completamente à obra, não necessitando de espaço específico para o dispositivo.

Mas algumas desvantagens de acordo com EPA (1999) como:

- Pouca perícia dos contratantes e profissionais em relação à tecnologia;
- O pavimento poroso necessita de uma maior manutenção, caso contrário torna-se obstruído;
- Há um risco considerado de falha de operação (devido à colmatagem ou má construção);
- Risco de contaminação do aquífero, dependendo da qualidade da água escoada, do solo e da suscetibilidade do aquífero;

2.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE

A fase de projeto dos pavimentos porosos é crucial para o seu bom funcionamento. Não dar importância desta etapa leva quase sempre a inutilidade da função do pavimento permeável. (Acioli, 2005).

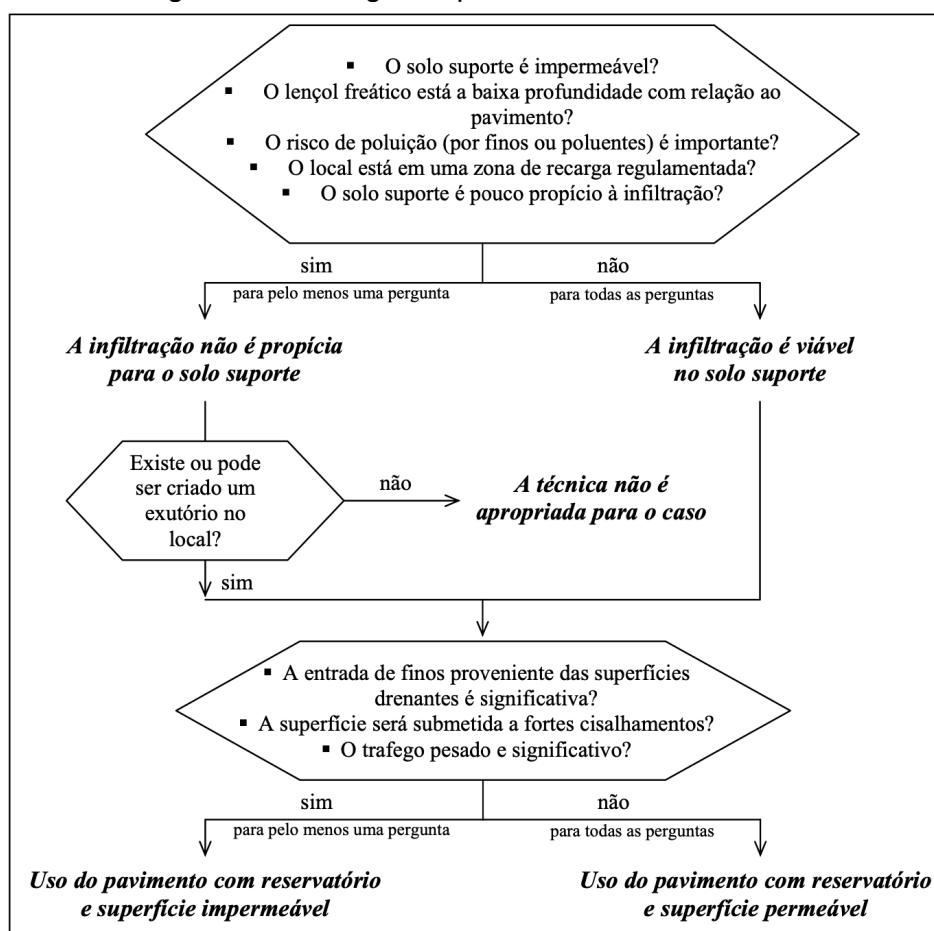
As informações mais importantes que se deve ter na fase de projeto são os critérios físicos, ambientais, econômicos e regulamentares (Figura 12). Neste estudo, serão expostas as etapas do projeto que consistem em: estudos complementares, estudo de viabilidade, escolha do material, dimensionamento mecânico e dimensionamento hidráulico-hidrológico do pavimento.

2.7.1 Estudos Complementares

Os estudos complementares ajudam a determinar as características do local em estudo, assim como do solo local, como também estudos hidro geológicos e hidrológicos necessários à elaboração da viabilidade técnica.

A seguir um fluxograma adaptado de Azzout et al., 1994 sud Acioli, 2005. Que mostra as características básicas se um pavimento poroso é ideal para ser implementado.

Figura 12 - Fluxograma para análise de viabilidade.



Fonte: (Acioli, 2005)

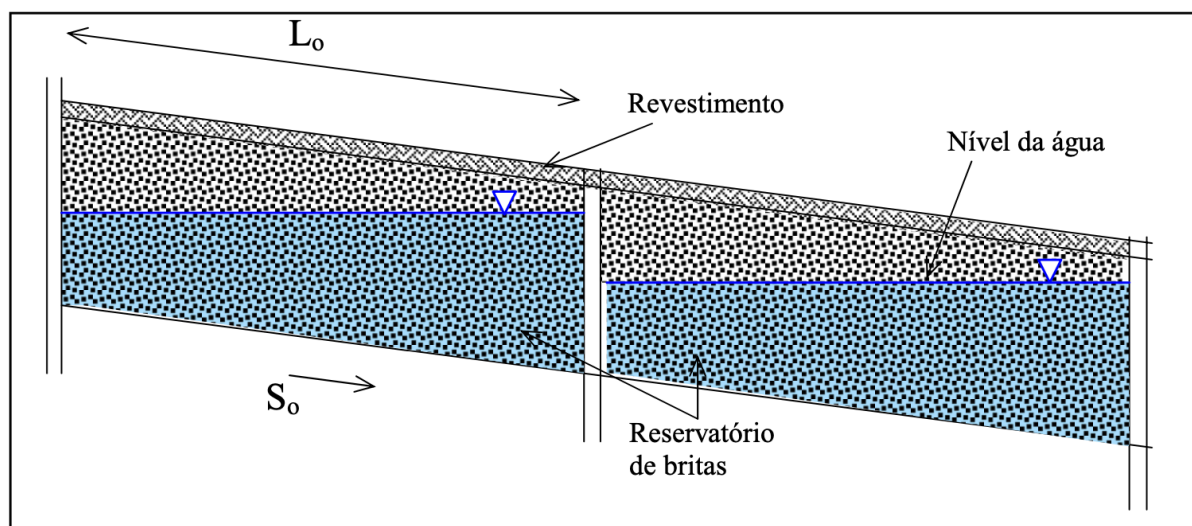
2.7.2 Características do local de implantação

Vegetação, tráfego da via, existência de redes de água ou esgoto, topografia local e entre outros fatores serão determinantes para a implementação ou a não implementação do pavimento poroso.

A região a ser drenada, deve ser determinada a área de contribuição e sua taxa de impermeabilização, a fim de se obter o volume calculado de armazenamento necessário à estrutura do pavimento. Como é feito o uso dessas áreas de drenagem para que se possa avaliar a qualidade da água, determinando-se características como o volume de finos e presença de contaminantes. Quando há uma grande presença de finos ou matérias orgânicas na água de contribuição devem ser previstos dispositivos pré-tratamento da água, a fim de se evitar o entupimento dos poros dos pavimentos (Azzout et al. 1994).

Em pavimentos com reservatórios, para evitar o transbordamento da água pela parte mais baixa do pavimento (Figura 13), a declividade do fundo do reservatório deve ser determinada.

Figura 13 - Para terrenos com declividade significativa será possível uma divisão dos reservatórios.



Fonte: (Acioli, 2005)

No caso não ser possível reduzir a declividade, o pavimento deve ser dividido em células individuais em que o tamanho possa ser determinado pela Equação 1 (UDFCD, 2002):

$$L_{\max} = \frac{0,244}{S_o}$$

Equação 1.

Onde:

L_{\max} = distância máxima entre as paredes das células na direção da declividade (m);

S_o = declividade da superfície do pavimento (m/m)

0,244 (m) desnível máximo recomendado entre a parte mais alta e a mais baixa do pavimento.

Segundo Schueler (1987) a superfície do pavimento terá que ter uma declividade de até 5% para melhor aproveitamento do pavimento poroso diante da infiltração da água da chuva.

CIRIA (1996) aconselha ainda que fundações das estruturas próximas devem ser analisadas pois podem ser prejudicadas com aumento da umidade do solo subjacente. Como também o levantamento de toda rede elétrica, de água e de esgoto com a sua localização e profundidade, para evitar o comprometimento das redes na hora das escavações.

2.7.3 Características do solo subjacente

Para o bom funcionamento da estrutura de infiltração, é necessária uma caracterização do solo local, como o seu comportamento na presença de água. Os parâmetros que devem ser analisados, são (Azzout et al. 1994):

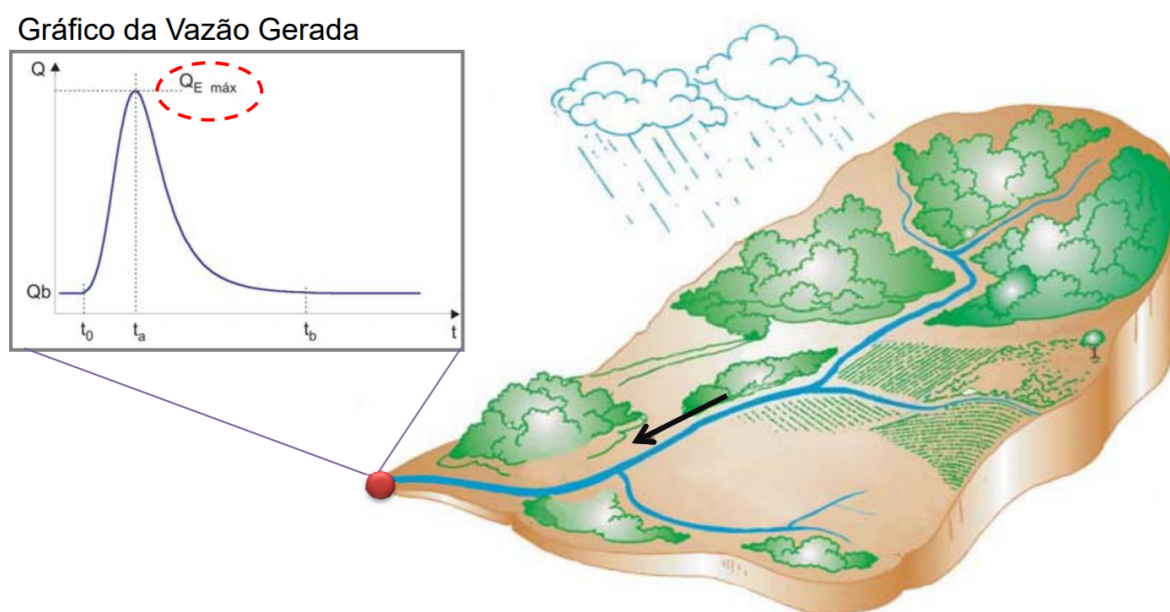
- Taxa de infiltração do solo saturado. Deve ser calculado em solo in situ, em diversos pontos do local de implementação, para a realização do traçado da curva de infiltração do solo, que EPA (1999) recomenda uma taxa de infiltração mínima de 13 mm/h.

- Capacidade de carga: importante para o dimensionamento mecânico do pavimento.
- Comportamento do solo na presença de água e variação da capacidade de carga em função da umidade do solo: deve se fazer uma avaliação para se evitar a possibilidade de contaminação do lençol freático, como também evitar risco de perda de carga do solo em função a umidade.

2.7.4 Área de drenagem - bacia hidráulica

A área de drenagem ou bacia hidráulica, se refere a área onde todo escoamento superficial gerado terá o mesmo destino.

Figura 14 – Representação de uma bacia hidráulica



FONTE: FERNANDES (2019)

2.7.5 Divisor de Águas

A determinação de um divisor de águas se designa um limite geográfico que separa uma determinada área em duas bacias hidráulicas, sendo a limitante onde as bacias, divididas, escoam em direções diferentes.

Figura 15 – Representação de um divisor de águas



FONTE: FERNANDES (2019)

2.7.6 Dimensionamento do pavimento permeável

2.7.6.1 Chuva de projeto e vazão de projeto

A chuva de projeto está associada ao período de retorno, de acordo com Tucci (2007) o período de retorno utilizado pode ser estabelecido de acordo com a estrutura.

Figura 16 – Tempo de Retorno

Estrutura	T (anos)
Bueiros de estradas pouco movimentadas	5 a 10
Bueiros de estradas muito movimentadas	50 a 100
Pontes	50 a 100
Diques de proteção de cidades	50 a 200
Drenagem pluvial	2 a 10
Grandes barragens (vertedor)	10000
Pequenas barragens	100
Micro-drenagem de área residencial	2
Micro-drenagem de área comercial	5

FONTE: TUCCI (2007)

Para o cálculo da chuva de projeto, de acordo com a Equação geral (Otto Pfafstetter, 1982).

$$Im = K \cdot \frac{T^a}{(t + b)^c}$$

Equação 2

Im – Intensidade máxima da chuva (mm/h)

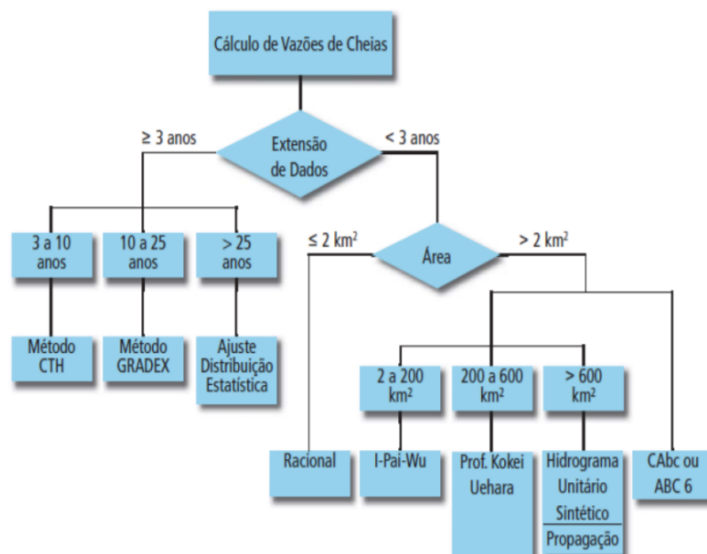
T – Período de retorno em anos

t – Duração da chuva em minutos

a, b, K e c – Parâmetros locais

De acordo com Fernandes (2019) e por Tomaz (2002) os métodos mais utilizados para a estimativa de vazões de enchentes seriam em relação a área da bacia hidráulica, de até 2 Km² pelo método racional simples, de 2 a 200 Km² pelo método I-PAI-Wu, de 200 a 600 Km² por Kokei Uehara e mais de 600 Km² pelo Hidrograma Unitário Sintético.

Figura 17 – Metodologias para estimativas de vazões de enchentes



Fonte: DAEE, 1999

A seguir as equações que possivelmente usaremos para calcular as vazões de enchente.

a) Método Racional

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Equação 3

Onde:

Q – Vazão de cheia (m³/s);

C – Coeficiente de escoamento superficial;

i – Intensidade da chuva de projeto (mm/hora);

A – área da bacia hidrográfica de contribuição (ha).

A equação de Talbolt permite solução simples do volume máximo, conforme mostrado a seguir. As relações Intensidade-Duração-Frequencia - IDF com a equação geral análoga à de Talbolt (Azzout et al, 1994):

$$i = \frac{aT^b}{t + c}$$

Equação 4

Onde:

i – Intensidade da chuva em mm.h;

T – Período de retorno em anos;

t – Duração da chuva em min;

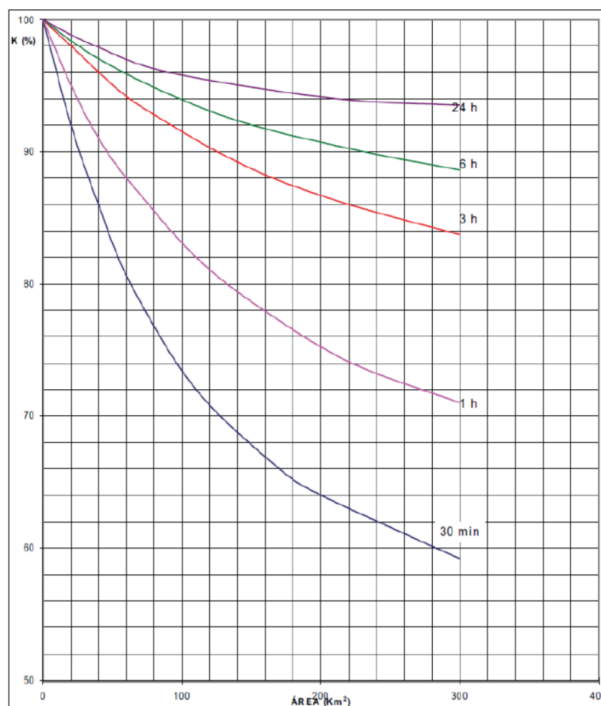
A, b, c parâmetros da equação

Figura 18 - Coeficiente de escoamento superficial para diferentes usos (Bastos, 2009)

Uso do solo	Período de retorno (anos)			
	2 - 10	25	50	100
Sistema viário				
Vias pavimentadas	0,75 - 0,85	0,83 - 0,94	0,90 - 0,95	0,94 - 0,95
Vias não pavimentadas	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Áreas industriais				
Pesadas	0,70 - 0,80	0,77 - 0,88	0,84 - 0,95	0,88 - 0,95
Leves	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Áreas Comerciais				
Centrais	0,75 - 0,85	0,83 - 0,94	0,90 - 0,95	0,94 - 0,95
Periféricas	0,55 - 0,65	0,61 - 0,72	0,66 - 0,78	0,69 - 0,81
Áreas Residenciais				
Gramados planos	0,10 - 0,25	0,11 - 0,28	0,12 - 0,30	0,13 - 0,31
Gramados íngremes	0,25 - 0,40	0,28 - 0,44	0,30 - 0,48	0,31 - 0,50
Condomínios com lotes >300m ²	0,30 - 0,04	0,33 - 0,44	0,36 - 0,48	0,31 - 0,50
Residências unifamiliares	0,45 - 0,55	0,50 - 0,61	0,54 - 0,66	0,26 - 0,69
Uso misto denso	0,50 - 0,60	0,55 - 0,66	0,60 - 0,72	0,63 - 0,75
Prédios/conjunto de apartamentos	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Playground/prças	0,40 - 0,50	0,44 - 0,55	0,48 - 0,60	0,50 - 0,63
Áreas rurais				
Áreas agrícolas	0,10 0,20	0,11 0,22	0,12 0,24	0,13 0,25
Solo exposto	0,20 - 0,30	0,22 - 0,33	0,24 - 0,36	0,25 - 0,38
Terrenos montanhosos	0,60 - 0,80	0,66 - 0,88	0,72 - 0,95	0,75 - 0,95
Telhados	0,80 - 0,90	0,90	0,90	0,90

FONTE: BASTOS (2009)

Figura 19 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva – K



Fonte: DAEE, 1999

2.7.6.2 Método curva envelope

Por este método, a curva de massas, tempo, volume dos afluentes aos pavimentos são comparadas com a curva de massas dos volumes efluentes, a máxima diferença entre as curvas é o volume do dimensionamento.

Os volumes podem ser expressos em lâminas d'água sobre a área da planta do pavimento. A curva afluente dada pela curva HDF (Altura-duração-frequência das chuvas) afetada pelo coeficiente de escoamento e da relação da área.

HE – Lâmina d'água da entrada acumulada medida sobre área da planta

HS - Lâmina d'água de saída acumulada medida sobre área da planta

$$HE = B \cdot \frac{a \cdot T^b}{t+c} \cdot \frac{t}{60}$$

Equação 5

Onde:

$$B = \frac{A_{pav} + C \cdot A}{A_{pav}}$$

Equação 6

Onde:

A_{pav} = Área do pavimento permeável

A = Área restante do terreno

$$Hs = y \cdot H \cdot q_s \cdot \frac{t}{60}$$

Equação 7

q_s – Vazão de saída constante do dispositivo em mm.h-1;

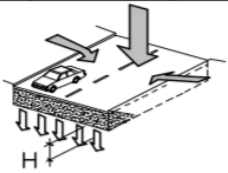
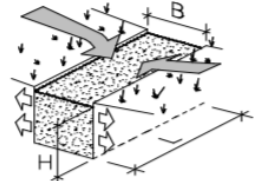
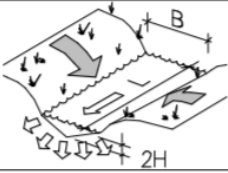
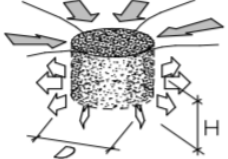
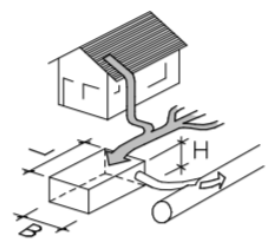
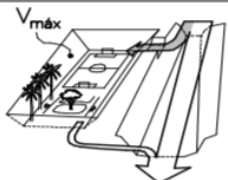
Y – Razão da área e volume do pavimento em mm.h-1;

H – Profundidade média do volume acumulado do pavimento em mm;

t – Duração da chuva em min.

Para o cálculo de diferentes tipos de dispositivos drenantes, a Figura 20 há diferentes fórmulas gerais para cada dispositivo.

Figura 20 – Dispositivos drenantes e suas fórmulas de dimensionamento

Dispositivo	Representação esquemática	Fórmulas para pré-dimensionamento
Pavimento permeável		$H = \frac{V_{\max}}{\eta}$ $V_{\max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T}^{1/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{q_s} \right)^2$
Trincheira de Infiltração		$H = \left[\frac{k_1(k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2$ $k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T}^{1/2}$ $k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma} \sqrt{q_s}$ $\beta = \frac{C.A}{B.L}$ $\gamma = \frac{2.L}{L.B} = \frac{2}{B}$
Vala de Infiltração		$H = V_{\max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T}^{1/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{q_s} \right)^2$ $\beta = \frac{C.A}{B.L}$
Poço de Infiltração		$H = \left[\frac{k_1(k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2$ $k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T}^{1/2}$ $k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma} \sqrt{q_s}$ $\gamma = \frac{4}{D}$ $\beta = \frac{4.C.A}{\pi.D^2}$
Micror-reservatório		$V_{\max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T}^{1/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma} \sqrt{H} \sqrt{q_s} \right)^2$ $\beta = \frac{C.A}{B.L}$ Infiltrante: $H = \left[\frac{k_1(k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2$ $k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T}^{1/2}$ $k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma} \sqrt{q_s}$ $\gamma = \frac{2(L+B)}{L.B}$ Estanque: $H = V_{\max}$ $\sqrt{\gamma} \sqrt{H} = 1$
Bacia de Detenção		$H = V_{\max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{C T}^{1/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{q_s} \right)^2$ $q_s = q_{pre} + \alpha K_{sat}$ Leito impermeável: $q_s = q_{pre}$; Bacia de infiltração: $q_s = \alpha K_{sat}$

V_{\max} = volume de dimensionamento (mm)

T = período de retorno (anos)

a, b, c = parâmetros da equação IDF de Talbot

q_s = vazão de saída constante do dispositivo (mm.h⁻¹)

A = área contribuinte ao dispositivo (m²)

C = coeficiente de escoamento da área de contribuição

L, B, D = dimensões do dispositivo (m)

η = porosidade do material de enchimento do dispositivo

H = profund. média do volume de acumulação do dispositivo (mm)

γ = razão entre área de percolação e volume do dispositivo (mm⁻¹)

β = produto do coef. de escoam. pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada do solo ((mm.h⁻¹)

α = coeficiente redutor devido à colmatação.

q_{pre} = vazão de restrição ou de pré-desenvolvimento (mm.h⁻¹)

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007)

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 MÉTODO

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre os tipos de pavimentos. Nessa pesquisa, informações sobre estrutura, comportamento, manutenção, usos, custos e melhor aplicação foram reunidas para cada tipo de pavimento.

Foi feito também, na revisão bibliográfica, a escolha do local para o estudo da análise de viabilidade na cidade, foi considerado, através de estudos relacionados com entrevistas envolvidas, o lugar que ocorre as inundações mais críticas da cidade. Os estudos como (BORGES, J. Q. 2006) e da (ACIOLI, L. A. 2005) foram fundamentais para a definição do local escolhido.

Tendo em vista que este estudo tem a finalidade básica de uma viabilidade técnica de pavimentação permeável em São Carlos, foram analisados os tipos de pavimentos porosos, as suas estruturas, suas condições, seus estudos preliminares como características do solo, hidrológicos, hidro geológicos, características do local e os parâmetros da viabilidade de implementação.

Estudou-se o local de implementação, o que se considera crítica do transtorno causado por enchentes. O DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), com o seu Manual de pavimentação e o seu Glossário de Termos Técnicos Rodoviários disponível em anexo no site, contribuiu como base a estruturação de pavimentos rodoviários presente neste estudo.

Nesse trabalho, foi estudado soluções indicadas para cada tipo de pavimentação permeável, como concreto e asfalto poroso, para que a sua aplicação seja de forma completa e estruturada.

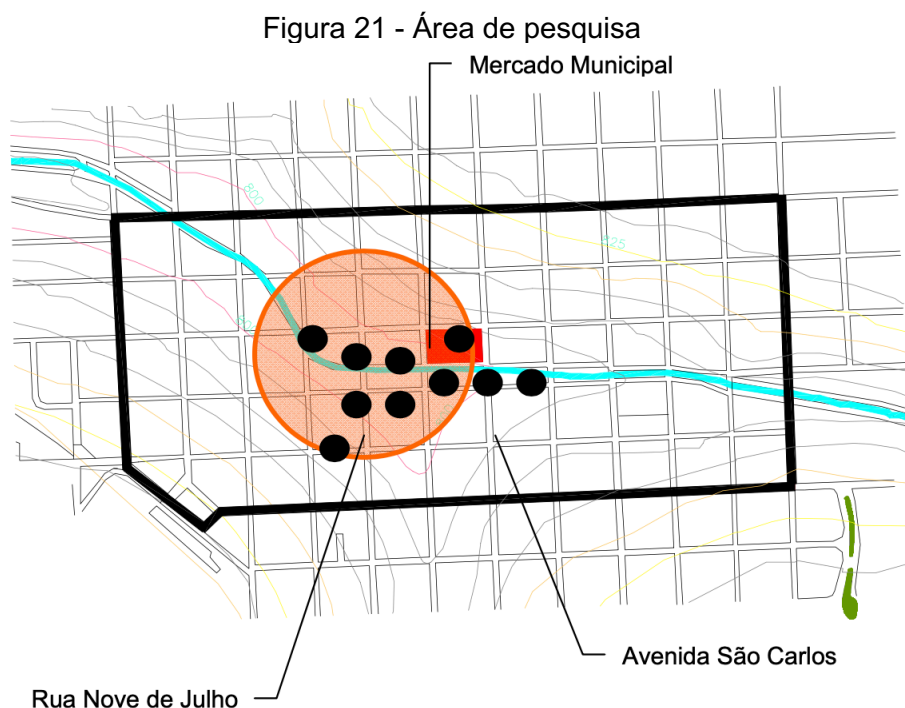
Diante deste acervo, será feita em Resultados a viabilidade de implementação do pavimento drenante no local escolhido. Todas as complicações como características do solo, condições hidrológicas, hidrogeologias, as características do local, parâmetros da viabilidade, materiais, estrutura, custo, dispositivos de drenagem e de infiltração serão previstos neste estudo.

3.2 MATERIAL

3.2.1 Determinação da área crítica



O município de São Carlos está situado na região central de São Paulo, a 244 km da capital e ocupa uma área de 1.140,92 Km² (PMSC 2002). A população estimada de 2018 é de 249.415 pessoas (IBGE, 2019).

De acordo com Borges, 2006 com o seu levantamento das principais inundações ocorridas da área central da cidade, foi localizado uma área crítica de enchentes (Figura 15), com a participação de moradores e comerciantes, ajudaram-na na escolha do ponto crítico.



Fonte: BORGES, 2006.

LEGENDA

-  Trecho Crítico
-  Lojas dos comerciantes entrevistados

Os locais indicados na figura 21, se refere na sequência de fotos; 22, 23, 24 e 25.

Figura 22 Rua Dona Alexandrina em condição normal e durante precipitação.



Fonte: BORGES, 2006.

Figura 14 Córrego do Gregório em condição normal e durante precipitação.



Fonte: BORGES, 2006.

Figura 24 Rua Episcopal em condição normal e durante precipitação.



Fonte: BORGES, 2006.

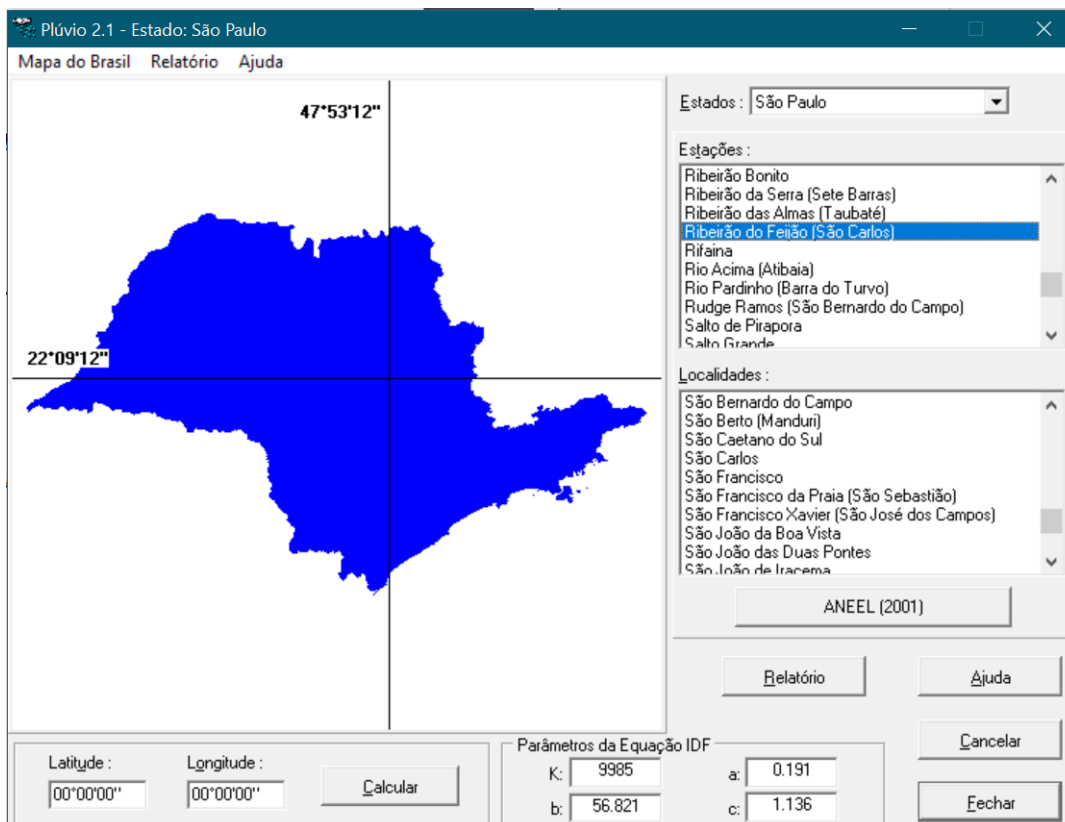
Figura 15 – Calçadão da Rua General Osorio



Fonte: BORGES, 2006.

3.2.2 Determinação dos parâmetros de chuvas intensas de São Carlos

Para se determinar os parâmetros da equação de chuvas intensas da cidade de São Carlos, de acordo com o software gratuito Plúvio (DEA – UFV)



<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>

K – 9985

b – 56.821

a – 0.191

c – 1.136

Para os valores de parâmetros do tipo Talbolt, pela conversão puderam ser encontradas em relação as do programa Pluvio:

$$a = 2395,4 ; b = 0,171 ; c = 16,9$$

3.2.2.1 Parâmetros de cálculo de chuvas intensas de São Carlos pelos dados do DAEE

De acordo com os dados do DAEE – Departamento de água e energias elétricas necessários para cálculo de intensidade de chuva, tempo de retorno e duração de chuva são:

Figura 26 – Previsão de máximas intensidades de chuvas em mm/h de São Carlos.

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	85,1	105,6	124,4	136,9	146,5	154,4	181,9	214,2	252,2
20	62,8	77,9	91,8	101,0	108,1	113,9	134,2	158,0	186,1
30	49,9	62,0	73,0	80,3	85,9	90,6	106,7	125,6	148,0
60	31,2	38,7	45,6	50,2	53,7	56,6	66,7	78,6	92,5
120	18,1	22,5	26,5	29,1	31,2	32,9	38,7	45,6	53,7
180	12,9	16,0	18,8	20,7	22,2	23,4	27,5	32,4	38,2
360	7,0	8,7	10,2	11,3	12,1	12,7	15,0	17,6	20,8
720	3,7	4,6	5,5	6,0	6,4	6,8	8,0	9,4	11,1
1080	2,6	3,2	3,8	4,1	4,4	4,7	5,5	6,5	7,6
1440	2,0	2,5	2,9	3,2	3,4	3,6	4,2	5,0	5,9

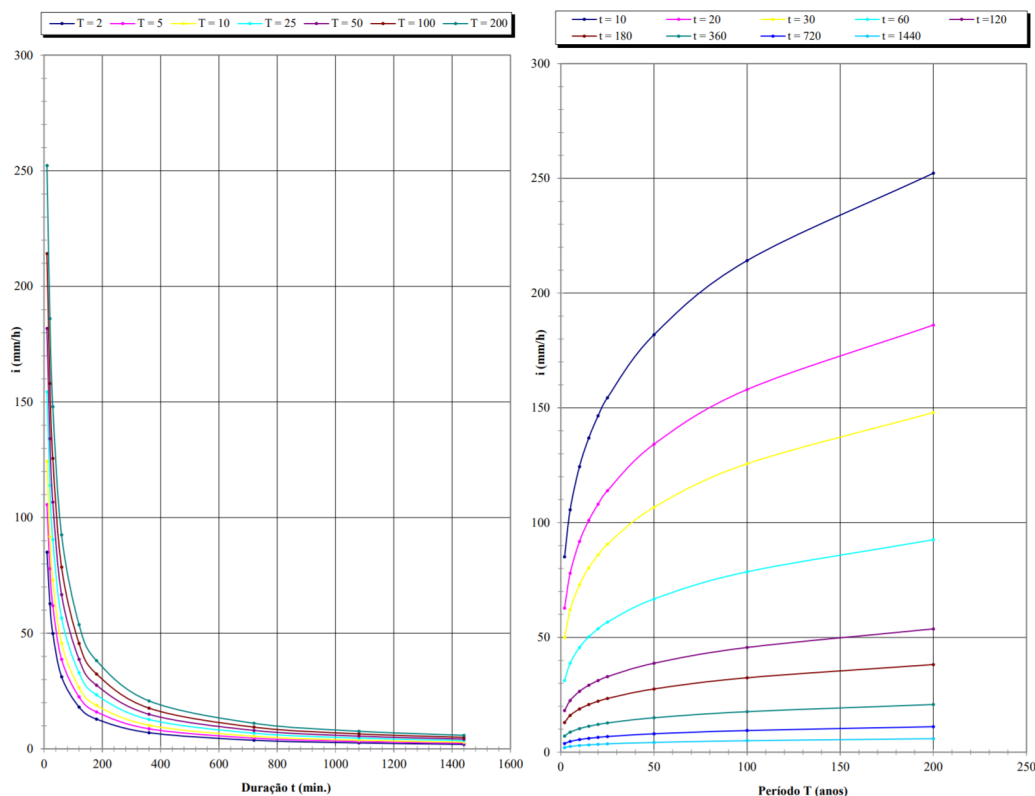
Fonte: DAEE (2018)

Figura 27 – Previsão de máximas alturas de chuvas em mm de São Carlos.

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	14,2	17,6	20,7	22,8	24,4	25,7	30,3	35,7	42,0
20	20,9	26,0	30,6	33,7	36,0	38,0	44,7	52,7	62,0
30	25,0	31,0	36,5	40,1	43,0	45,3	53,3	62,8	74,0
60	31,2	38,7	45,6	50,2	53,7	56,6	66,7	78,6	92,5
120	36,2	45,0	53,0	58,3	62,4	65,7	77,4	91,2	107,4
180	38,6	47,9	56,4	62,1	66,5	70,1	82,5	97,2	114,5
360	42,0	52,1	61,4	67,6	72,3	76,2	89,8	105,7	124,5
720	44,8	55,6	65,5	72,1	77,2	81,3	95,8	112,8	132,9
1080	46,3	57,5	67,7	74,5	79,8	84,1	99,0	116,6	137,4
1440	47,4	58,8	69,3	76,2	81,6	86,0	101,3	119,2	140,4

Fonte: DAEE (2018)

Figura 28 - Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) de São Carlos



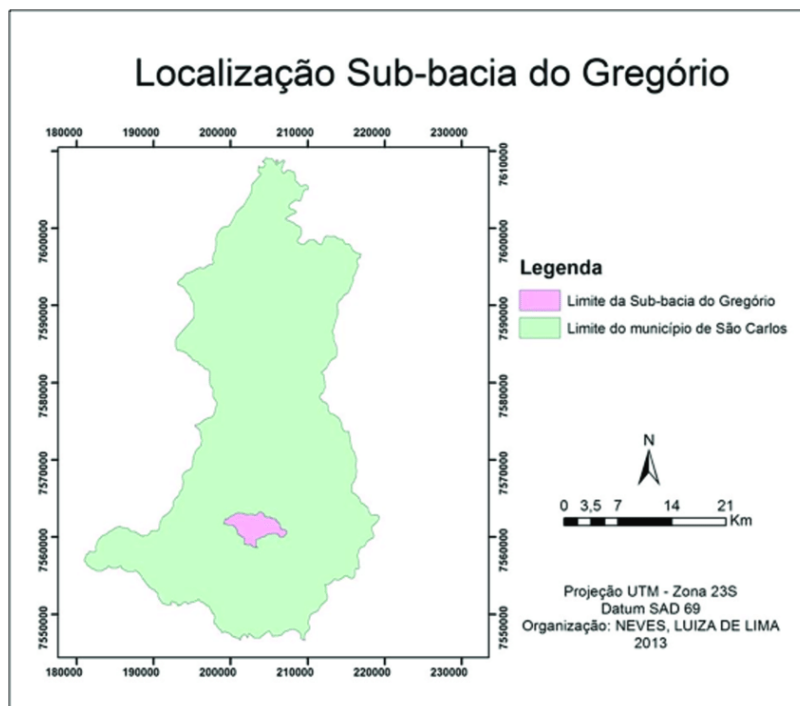
Fonte: DAEE (2018)

Curva IDF esquerda em função do período T (Anos) e curva IDF direita em função do período t (Minutos)

3.2.3 Determinação da área da bacia hidráulica

A região central da cidade, (Figura 21) está situado na Sub-Bacia hidráulica do Gregório (Figura 29), de uma extensão de aproximadamente 17,442 Km². O Córrego do Gregório percorre cerca de 7 Km até a foz no Córrego do Monjolinho e sua máxima altitude é de 900 metros e a mínima é de 786 metros em relação ao nível do mar segundo Decina, Brandão (2016).

Figura 29 - Localização da Sub-Bacia do Gregório em São Carlos



Fonte: MAROTTI (2014)

Figura 30 – Classes de uso do solo da Sub-Bacia do Gregório

Classe de uso do solo	Área (m ²)	Porcentagem (%)
Parques e canteiros	400.887	2,30
Terrenos baldios	2.801.336	16,06
Vias e lotes ocupados	8.453.181	48,46
Agricultura	694.977	3,98
Floresta	1.948.072	11,17
Pastagem	3.144.028	18,03
Total	17.442.248	100

Fonte: DECINA, BRANDÃO (2016).

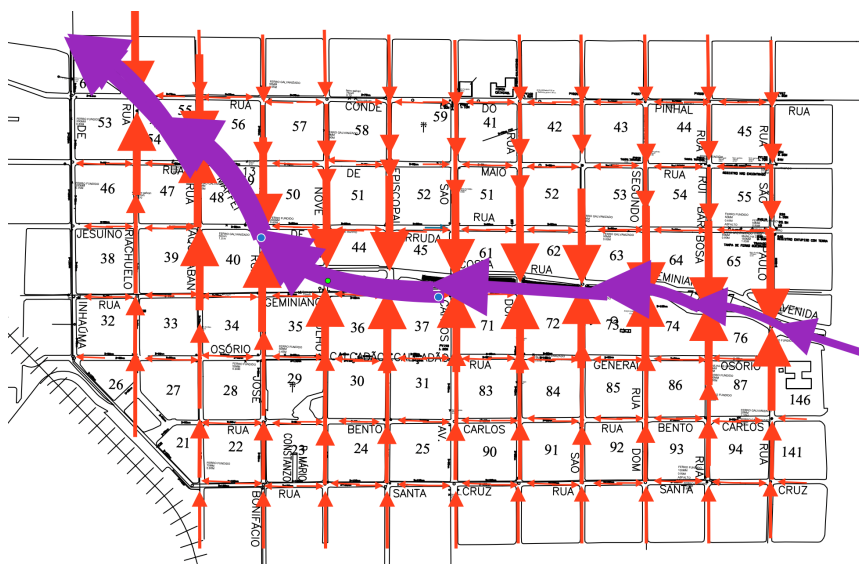
3.2.4 Simulação hidráulica da área crítica

Segundo Decina, Brandão (2016), a simulação foi realizada com o programa HEC-RAS e que os resultados foram exportados para ArcGIS 9.3. A Figura 31 indica a área inundada. A simulação foi realizada entre as ruas Campos Sales e José Bonifácio, totalizando uma extensão de 980 metros.

3.2.6 Vazão de cheia

Para dar início a viabilidade técnica do pavimento permeável, primeiro precisamos calcular a vazão de cheia. Será considerado apenas uma parcela da Sub-bacia estudada, em efeito das áreas adjacentes que não se soma vazões em vias da direção norte-sul da área crítica, onde a declividade do solo contribui para o escoamento em direção ao córrego.

Figura 33 – Representação esquemática do sentido do fluxo d'água e sua relação em aumento súbito da vazão de escoamento.



Fonte: Autor (2019)

O Limitante de cálculo do sentido norte será os divisores de água e direção sul será a linha férrea. Em direção Leste-Oeste, Rua São Paulo a Visconde Inhaúma. Usando a ferramenta de área do programa Google Earth valor aproximado de 3,56 Km².

Analisando a imagem Figura 32, se eliminamos a vazão de escoamento superficial das vias de sentido Leste-Oeste, grande parte do escoamento superficial irá ser eliminado no sentido do córrego. Cabe então, permeabilizar as vias Leste-Oeste, usando dispositivos drenantes.

A área de cada quarteirão é praticamente a mesma, ocorre também os mesmos dados de chuvas, impermeabilidade do solo e declividades, estas vias são relativamente planas em relação as Norte-Sul.

Cada quarteirão mede aproximadamente 100 metros, incluiremos as áreas dos lotes da via do quarteirão pois majoritariamente estes lotes são impermeabilizados e escoem a água pluvial para as vias de drenagem pública, as vias têm aproximadamente 9 metros de largura, resultando então: 10,900 m² de área de contribuição de escoamento superficial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CHUVA DE PROJETO

Intensidade da chuva pré-estabelecida pelo DAEE para São Carlos equivale:

$$i = (t + 16)^{-0,935} \cdot 25,33T^{0,236}$$

Equação 8

Dados adotados da Figura 26 e Figura 27.

Duração t – 30 min

Retorno T – 25 anos

$$i = 1,51 \text{ mm/min}$$

4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO POROSO

4.2.1 Dimensionamento de pavimento com reservatório poroso

Considerando-se apenas o aspecto quantitativo de retenção e ou redução de escoamento superficial. Aspectos relevantes de localização como condições de solo suporte também não será incluído.

O pavimento drenante é adotado neste estudo como tendo uma camada suporte porosa de brita abaixo do revestimento. O dimensionamento é a espessura dessa camada dito reservatório poroso.

Pelo cálculo da equação V_{max} da Figura 20, podem-se obter os parâmetros de dimensionamento para diferentes dispositivos drenantes. Silveira e Goldenfum (2007).

Coeficiente de permeabilidade – 0,9

Área impermeabilizada – 10.000m²

Área a ser permeável – 900 m²

$$B = \frac{900 + 0,9 \cdot 10000}{900}$$

$$B = 11$$

Para efeito de cálculo, foi desprezado o valor de q_s – a vazão de saída constante do dispositivo, para que em 30 minutos não haja vazão de saída, eliminando o escoamento superficial no pavimento.

$$V_{max} = \left(\sqrt{\frac{2395,4}{60}} \cdot \sqrt{11 \cdot 25^{\left(\frac{0,171}{2}\right)}} - \sqrt{\frac{16,9}{60}} \right)^2$$

$$V_{max} = 900mm$$

Profundidade média

$$H = \frac{V_{max}}{n}$$

n – Porosidade do material do reservatório poroso.

A brita selecionada para execução do reservatório poroso é 25mm e $n = 0,44$ desta forma, o cálculo da altura do reservatório se dá:

$$H = \frac{900}{0,44}$$

$$H = 2.045 \text{ mm}$$

Para tanto, a altura necessária é dificilmente exequível, 205 cm. Portanto, em virtude de ser muitas vias a ser reconstruídas seria um alto custo na execução.

Contudo, executaremos o dimensionamento com um período de retorno menor seguindo a Figura 16, e o coeficiente de escoamento superficial da a Figura 18 para análise melhor em relação custo-benefício.

$$B = \frac{900 + 0,8 \cdot 10000}{900}$$

$$B = 9,9$$

Sendo:

Coeficiente de permeabilidade – 0,8

A – 10.740 m²

$$V_{max} = \left(\sqrt{\frac{2395,4}{60}} \cdot \sqrt{9,9 \cdot 10^{\left(\frac{0,171}{2}\right)}} - \sqrt{\frac{16,9}{60}} \right)^2$$

$$V_{max} = 318,70 \text{ mm}$$

Retorno T – 10 anos

$$H = \frac{318,70}{0,44}$$

$$H = 724,32 \text{ mm}$$

Para uma análise melhor, colocaremos em tabela valores de diferentes durações do tempo de retorno.

Tabela 2 – Altura do reservatório em relação ao tempo de retorno

TEMPO DE RETORNO (Anos)	Vmax (mm)	Altura do reservatório (cm)
5	155	35,33
7,5	237	53,83
10	319	72,43
12,5	401	91,11
15	483	109,84
20	649	147,40
25	814	185,06
30	980	222,79
40	1313	298,40
50	1646	374,16

Fonte: Autor (2019)

Em contrapartida, tempos de retornos muito elevados é inviável a aplicação do reservatório de retenção, para até dez anos não teremos problemas com tubulações enterradas. Pela figura 32 vemos que tubulações começam aos 75 cm, abaixo disso teremos complicações para a execução. Também, reservatórios muito profundos chega a ser inviável pelo custo e complexidade da obra.

5 CONCLUSÕES

O estudo constitui uma alternativa mais eficaz dos sistemas pluviais empregados atualmente em cidades de médio porte. Com mudanças produtivas simples na construção de um pavimento já tem um forte impacto em uma cidade. Resultando em economia com sistemas de drenagens tradicionais higienistas com o único objetivo é escoar com maior rapidez o escoamento superficial de precipitação podendo ocasionar grandes prejuízos quando são mal dimensionados, afetando a vida de muitos.

Há uma grande variedade de métodos de cálculo de dimensionamento de dispositivos de contenção na fonte, porém se procura padronizar o método utilizado dependendo das características de projeto. Há também uma variedade boa de tipos de dispositivos drenantes, podendo usar em conjuntos e de amplas proporções de projeto.

Neste estudo inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica dos tipos e métodos utilizados por autores diferentes, para intuito de procurar o nível de dificuldade de execução do projeto baixo e possivelmente com a eficiência elevada.

Para a melhor eficiência e facilidade de contenção na fonte, foi adotada a menor área de contribuição possível, pois, quanto maior a área de influência calculada maior será as dimensões do dispositivo. O ideal é que haja um equilíbrio entre essas dimensões do dispositivo, pois quando superdimensionado tornará a obra inviável.

Nos centros das cidades, onde as construções são mais antigas, respeitando legislações ultrapassadas, as construções tendem a ser mais impermeabilizadas e dificilmente haverá poços de infiltrações, o que diminuiria consideravelmente a vazão a jusante. Sendo, as construções têm uma relação direta com o aumento do escoamento de precipitação nas drenagens urbanas, é o que acontece na cidade de São Carlos, onde um projeto de reestruturação da drenagem urbana, pode ser custoso mesmo tendo uma solução simples.

O resultado deste trabalho será viável dependendo unicamente de questões econômicas, pois construtivas não teriam grandes problemas na execução por etapas, sendo que o método utilizado daria para executar em partes. Diminuindo o impacto que causaria no centro da cidade.

Uma recomendação para futuros estudos é uma continuação do projeto na área não estudada a montante da Sub-bacia do Gregório, pois o córrego já chega na região central quase que sua totalidade da seção cheia em chuvas intensas. Sendo, a contribuição estudada é o estopim para a enchente.

REFERÊNCIAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; Curso de tecnologia de pavimentos de concreto, Modulo 2 – Projeto e dimensionamento dos pavimentos. [S.l.:s.n.], [2010].

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

AZZOUT Y., BARRAUD, S., CRES, F.N., ALFAKIH, E.; **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial**, Paris: Technique et Documentation - 1994. Lavoisier, 372p.

Bastos, Patrícia Covre. Efeitos da urbanização sobre vazões de pico e enchente. [Dissertação de Mestrado]. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo; 2009.

BORGES, JULIANA QUEIROZ. O IMPACTO DA OCUPACAO DE FUNDOS DE VALE EM ÁREAS URBANAS. CASO: CÓRREGO DO GREGÓRIO, UFSCAR, 2006.

BERNUCCI; MOTTA; CERATTI; SOARES. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, Petrobras, 2008.

CRISPIM A. FLAVIO. Técnicas de melhoramento dos solos, Estabilização Granulométrica. UNEMAT, 2015.

DECINA, THIAGO TIRADENTES; BRANDÃO, JOÃO LUIZ. ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES EM UMA BACIA URBANA. VOL 21 RIO DE JANEIRO. 2016

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE/ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo. São Paulo. 1999. Disponível em: <www.daeebauru.org/EquaChuvasIntensas.doc>

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2017.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Manual de Pavimentação Rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

FEBESTRAL. **Lês Revêtements Drainants. en pavés de béton** Disponível em: <<http://www.febestral.be>>. Acesso em maio de 2019.

GONÇALVES, A. B.; OLIVEIRA, R. H. de. Água em Ambientes Urbanos: Pavimentos Permeáveis e sua influência sobre a Drenagem. 2014. 12 p. Seminário (Graduação)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=11805. Acesso em: 26 maio. 2018.

GORSKI, Maria Cecília Barbiero. **Rios e Cidades: Ruptura e Reconciliação**. 2008. 35 f. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008. [Orientador: Prof. Dr. Angélica A. Tanus Benatti Alvim]

GOUVÊA, CARLOS JOSÉ. CÁLCULO DE VAZÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA VISANDO A CONSTRUÇÃO DE UMA OBRA DE ARTE. UNIVAP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2019. Brasil em síntese. População Brasileira. Disponível em: www.cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama. Acesso em: 25 de junho de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (PMSC). Conferência da cidade: Processo de elaboração do Plano Diretor do Município de São Carlos. São Carlos, 2002.

SILVEIRA, ANDRÉ; GOLDENFUM, JOEL. Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.12. Porto Alegre, 2007.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. 1. Ed. Porto Alegre: ABRH, 2007. V. 1. 352p.

Tomaz, Plínio. Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2002.

URBONAS, B.; STAHRÉ, P. 1993. Stormwater Best Management Practices and Detention. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

YANG, J.; JIANG, G. 2003. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. Cement and Concrete Research 33 381-386

MAROTTI, ANA; SANTOS, KAROLINE; MACERA, LEONARDO; NEVES, LUIZA; GONÇALVES, JULIANO; PUGLIESI, ÉRICA. 2014, LEVANTAMENTO HISTÓRICO E RELATOS DE INUNDAÇÕES DO CÓRREGO DO GREGÓRIO NA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS – SP.