



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

LUCIANO D'ANGELO MOTTA

**PROCEDIMENTOS DE PROJETO VIÁRIO EM PAVIMENTOS
PERMEÁVEIS COM BASE NA ABNT NBR 16.416/2015 –
COMPARAÇÃO ENTRE BLOCOS PERMEÁVEIS E CONVENCIONAIS**

VITÓRIA-ES

2019

LUCIANO D'ANGELO MOTTA

**PROCEDIMENTOS DE PROJETO VIÁRIO EM PAVIMENTOS
PERMEÁVEIS COM BASE NA ABNT NBR 16.416/2015 -
COMPARAÇÃO ENTRE BLOCOS PERMEÁVEIS E CONVENCIONAIS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, na área de concentração de Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rigo

VITÓRIA-ES

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Tatiana Peterle, que sempre amorosa, ofereceu o apoio que tornou possível essa empreitada; à minha família pelo exemplo e apoio.

Aos colegas de trabalho da ENGEPAVI, à Prefeitura de Vila Velha, à empresa Cidade Engenharia, à Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), muito obrigado a todos pela parceria.

Muito obrigado ao professor Daniel Rigo pela orientação e por estar sempre à procura de novas respostas na área de gestão de águas pluviais.

Ao professor Hélio Zanquetto pelas conversas e dicas: valeu!

Muito obrigado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, aos professores Ricardo Franci e José Antônio Tosta pelas importantes observações feitas durante qualificação do trabalho, a todos os professores que possibilitaram este momento e aos colegas de curso, com quem tive conversas sobre variados temas referentes ao desenvolvimento sustentável.

Por fim, muito obrigado à CAPES e à FAPES, que cumprem o fundamental papel de fomento à pesquisa no Brasil e no Espírito Santo.

“O mundo não se modifica de imediato, uma vez que a mudança, em si, leva muitos anos para se tornar visível. Tal transformação, entretanto, não é menos determinante em razão da sua silenciosa evolução”.

(Steven Johnson)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Tipos de Infiltração	27
Figura 02: Pavimento permeável com aumento da evaporação	29
Figura 03: Pavimento permeável com superfície colmatada.....	31
Figura 04: Fluxograma para análise de viabilidade.....	33
Figura 05: Tipos de dispositivos de drenagem urbana convencional	46
Figura 06: Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico	50
Figura 07: Localização da área de estudo.....	53
Figura 08: Imagens de alagamento na região em 11/2018	54
Figura 09: Localização das vias projetadas	54
Figura 10: Bloco de concreto poroso x bloco de concreto convencional	58
Figura 11: Plano de sondagem para estudo do subleito.....	59
Figura 12: Investigação geotécnica na área estudada.....	59
Figura 13: Medição das espessuras das camadas de solos na área estudada.....	59
Figura 14: Localização dos furos de sondagem com nível freático inferior a 1,0m.....	63
Figura 15: Levantamento topográfico planialtimétrico	64
Figura 16: Ponto de deságue da rede de drenagem	65
Figura 17: Projeto tipo MF-01	66
Figura 18: Rede Hidráulica Principal	68
Figura 19: Área de Contribuição	71
Figura 20: Área permeável	71
Figura 21: Localização dos tipos de infiltração do pavimento permeável	73
Figura 22: Seção de Pavimentação do tipo infiltração total	76
Figura 23: Seção de Pavimentação do tipo sem infiltração.....	76
Figura 24: Gráfico Comportamento da Rede Hidráulica em Blocos Convencionais.....	80
Figura 25: Gráfico Comportamento da Rede Hidráulica em Pavimento Permeável.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Estudos e projetos e suas diretrizes básicas.....	32
Quadro 02: Valores de período de retorno	34
Quadro 03: Coeficiente de deflúvio para bacias.....	35
Quadro 04: Coeficiente de deflúvio de superfícies – DNIT	36
Quadro 05: Coeficiente de deflúvio adotados pela PMSP	36
Quadro 06: Coeficiente deflúvio de superfícies – Paraná	38
Quadro 07: Coeficiente deflúvio de superfície – Araújo, Tucci, Goldenfum, 2000	38
Quadro 08: Classificação dos grupos hidrológicos dos solos (Método do SCS).	41
Quadro 09: Descrição de <i>CN</i> para diferentes solos e coberturas de uso e ocupação.	42
Quadro 10: Parâmetros de tráfego correlacionados classificação funcional de vias	45
Quadro 11: Espaçamento entre poços de visita	48
Quadro 12: Definição do tipo de infiltração	56
Quadro 13: Permeabilidade de solos	62
Quadro 14: Resultados lençol freático.....	62
Quadro 15: Resumo geometria e terraplenagem	65
Quadro 16: Dimensionamento mecânico do pavimento.....	69
Quadro 17: Resultado do dimensionamento mecânico do pavimento	69
Quadro 18: Especificações básicas para revestimento em concreto.....	74
Quadro 19: Especificações básicas para camada de base	75
Quadro 20: Camadas projetadas da calçada	77
Quadro 21: Resultado dimensionamento camada de base/reservatório	78
Quadro 22: Dados Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais.....	80
Quadro 23: Dados Rede Hidráulica Principal em Pavimento Permeável	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Análise estatística do ISC	61
Tabela 02: Dimensionamento da Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais.....	66
Tabela 03: Dimensionamento da Rede Hidráulica Principal em Blocos Porosos	67
Tabela 04: Dimensionamento Hidrológico-Hidráulico do Pavimento tipo infiltração total	74
Tabela 05: Dimensionamento Hidrológico-Hidráulico do Pavimento tipo sem infiltração	74
Tabela 06: Resultados da influência do pavimento na rede de drenagem projetada	79
Tabela 07: Resumo Custos (R\$/Km).....	82
Tabela 08: Resumo Custos (R\$/m ²)	83
Tabela 09: Custos pavimentação	84
Tabela 10: Custos drenagem.....	85

LISTA DE SIGLAS

AASHTO – American Association of State Highways and Transportation Officials
ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
BCP – Bloco de Concreto Poroso
BGS – Brita Graduada Simples
CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CBR – Califórnia Bearing Rate
CPA – Camada Porosa de Atrito
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EIA - Área Efetiva Impermeável
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF – Intensidade - Duração - Frequência
IP – Índice de Plasticidade
IS – Instrução de Serviço
ISC – Índice de Suporte Califórnia
LID – Low-Impact Development (Impacto Zero)
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
Mpa – Mega Pascal
N.A. – Nível D'água
NBR – Normas Brasileiras
PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo
SUDS - Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável
USACE – U.S. Army Corps of Engineers

RESUMO

As medidas compensatórias de drenagem, como pavimentos permeáveis, vêm sendo introduzidas como soluções para os problemas de alagamentos em diversos países. Este estudo tem como objetivo fornecer elementos de projeto para vias em pavimento permeável, como alternativa técnica sustentável viável, por meio das diretrizes da ABNT NBR 16.416/2015. O estudo comparou os projetos viários em pavimento intertravado convencional com o pavimento permeável em blocos porosos em um empreendimento viário localizado no bairro Barra do Jucu no município de Vila Velha - ES. Ainda foi analisada a influência do pavimento permeável na drenagem em relação ao pavimento convencional e comparou-se seus custos para implantação. O estudo indicou que o pavimento permeável em blocos porosos influencia em uma diminuição nas quantidades dos dispositivos de drenagem e ocasionou a redução dos diâmetros dos bueiros, acarretando em menor profundidade de deságue da rede. Quanto aos resultados da análise comparativa dos custos entre os diferentes tipos de pavimentos estudados, verificou-se que apesar dos custos de pavimentação em blocos porosos ser 27,30% superior aos custos em relação à pavimentação em blocos de concreto convencionais, os custos com drenagem tiveram decréscimo de 30,94%, resultando em custos para implantação do empreendimento em blocos porosos em 3,74% maiores, em relação ao bloco de concreto convencional. Verificou-se, portanto, no caso estudado que o acréscimo nos custos da utilização do pavimento permeável pode ser compensado pela redução nos gastos com o sistema de drenagem podendo-se afirmar que os custos finais do empreendimento viário entre as duas soluções são similares, porém apresentando ganhos ambientais.

Palavras Chave: Pavimento Permeável. ABNT NBR 16.416/2015. Projeto Viário. Drenagem Urbana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Impactos da impermeabilização.....	15
3.2 Medidas mitigadoras	17
3.3 Pavimentos permeáveis	21
3.3.1 Conceitos.....	21
3.3.2 Breve Histórico	21
3.3.3 Tipos de pavimentos permeáveis	25
3.3.4 Vantagens e Desvantagens.....	28
3.4 Diretrizes de projeto viário com uso de pavimento permeável	31
3.4.1 Atividades de Projeto.....	32
3.4.2 Concepção Funcional do Empreendimento	32
3.4.3 Análise de Viabilidade Técnica	33
3.4.4 Estudos hidrológicos.....	33
3.4.4 Estudos geotécnicos	43
3.4.5 Estudos topográficos.....	44
3.4.6 Estudos de tráfego.....	44
3.4.6 Projeto geométrico	45
3.4.7 Projeto de terraplenagem	45
3.4.8 Projeto de drenagem	46
3.4.9 Projeto de pavimentação	48
3.4.9.1 Dimensionamento Mecânico	49
3.4.9.2 Dimensionamento hidrológico-hidráulico da estrutura reservatório	49
3.4.10 Projeto de urbanização.....	51
3.4.11 Análise de custos.....	51
4 METODOLOGIA.....	53
4.1 Área de estudo.....	53
4.2 Concepção funcional do empreendimento	54
4.3 Concepção do pavimento permeável.....	55

4.3.1 Definição do tipo de infiltração	56
4.3.2 Escolha dos materiais.....	56
4.4 Estudos hidrológicos.....	57
4.5 Estudos geotécnicos	58
4.6 Estudos topográficos.....	63
4.7 Estudos de tráfego	64
4.8 Projeto geométrico e terraplenagem.....	64
4.9 Projeto de drenagem	65
4.10 Projeto de pavimentação.....	68
4.10.1 Dimensionamento mecânico do pavimento	68
4.10.2 Dimensionamento hidrológico-hidráulico do pavimento permeável.....	69
4.10.3 Especificações Básicas de Materiais.....	74
4.11 Projeto de urbanização	76
4.12 Análise de custos	77
5 RESULTADOS	78
5.1 Resultados do dimensionamento do pavimento	78
5.2 Avaliação da influência do tipo de pavimento no dimensionamento e análise do comportamento dos dispositivos de drenagem de águas pluviais	79
5.3 Análise do custo	82
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
6.1 Conclusões	87
6.2 Recomendações	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS.....	96

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da malha viária e o crescimento das cidades em todo o mundo, a impermeabilização do solo fez aumentar a frequência e a intensidade dos eventos de inundação urbana (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

A impermeabilização do solo afeta drasticamente o ciclo hidrológico, uma vez que uma parcela de água que infiltrava no solo passa a compor o escoamento superficial, aumentando os volumes escoados e as vazões de pico, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, fazendo com que os hidrogramas de cheias se tornem mais críticos, aumentando a frequência e magnitude das inundações (BURCHALES; SILVA, 2007).

A solução convencional para a drenagem urbana possui como princípio, que o afastamento da água da chuva deve se dar o mais rapidamente possível para a jusante, por meio de obras de canalização que aceleram o escoamento e o afastamento rápido dos picos de cheias para os corpos d'água de jusante.

Contudo, tal princípio tem sido questionado pelos profissionais da área de drenagem há alguns anos, por ocasionar a sobrecarga de córregos receptores, ou seja, da macrodrenagem.

Faz-se necessário, por conseguinte, a adoção de novas práticas e de novos conceitos, a fim de mudar o cenário atual.

Nesse contexto, destacam-se como soluções complementares de drenagem urbana, as medidas compensatórias que interferem no hidrograma por meio de armazenamento do escoamento superficial direto, percolação e infiltração, e que são utilizadas como técnicas alternativas de drenagem para reduzir ou controlar os excedentes pluviais gerados pela impermeabilização e pela poluição de origem pluvial, além de propiciar a recarga dos aquíferos subterrâneos (NASCIMENTO; HELLER, 2004).

Vários são os tipos de sistemas que vêm sendo estudados para esse fim, e a solução mais adequada passa pela análise de diferentes fatores, tais como características do solo (capacidade de infiltração e capacidade estrutural), nível do lençol freático e área disponível para implantação (REIS ABREU; DE OLIVEIRA ILHA, 2014).

Assim, este estudo visa comparar um projeto viário utilizando soluções de pavimentação e drenagem convencionais com outro utilizando soluções não convencionais, através de pavimentos permeáveis com as diretrizes da ABNT NBR 16.416. A comparação entre as soluções visa demonstrar que existem soluções alternativas viáveis em projetos viários, com vantagem de contribuir na mitigação da impermeabilização do solo urbano.

Para o desenvolvimento desse estudo, foi utilizado, como estudo de caso, vias urbanas submetidas a baixo fluxo de tráfego no bairro Barra do Jucu, localizado no município de Vila Velha, estado do Espírito Santo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Fornecer elementos de projeto para vias urbanas em pavimento permeável como técnica sustentável para mitigação de impactos da impermeabilização do solo de acordo com as diretrizes técnicas e requisitos da ABNT NBR 16.416/2015.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar o projeto de pavimentação revestidos em blocos intertravados de concreto convencionais com o projeto de pavimentação permeável em blocos de concreto porosos;
- Analisar a influência do pavimento permeável no dimensionamento e comportamento da rede de drenagem de águas pluviais de um empreendimento viário;
- Avaliar o custo para implantação de vias utilizando a solução em pavimento permeável em relação ao convencional em um empreendimento viário.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Impactos da impermeabilização

As modificações antrópicas que ocorrem na paisagem para implantação de cidades afetam diretamente o ciclo hidrológico, alterando os caminhos por onde a água circula através dos processos de infiltração e escoamento, precipitação e recarga de aquíferos (SILVA, 2011).

Com a rápida urbanização e industrialização, incluindo desmatamento, mudança da cobertura do solo (com a impermeabilização) e irrigação, várias mudanças vêm ocorrendo no sistema hidrológico que, somadas às mudanças climáticas e à heterogeneidade do solo, têm impactado diretamente nas descargas em muitos rios ao redor do mundo. (DEVIA; GANASRI; DWARAKISH, 2015).

De acordo com Tucci e Mendes (2006), a interface entre solo-vegetação-atmosfera tem uma forte influência no ciclo hidrológico, associada à complexidade dos processos naturais e à interferência humana que age sobre esse sistema natural (TUCCI; MENDES, 2006).

A expansão urbana voltada para o uso de automóveis leva à construção de vias, estacionamentos e outras superfícies impermeáveis, que ocasionam problemas de enchentes, congestionamentos de trânsito, alto consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa e poluição generalizada (ANDRADE; BLUMENSCHHEIN, 2013).

A impermeabilização do solo afeta drasticamente os ciclos biogeoquímico, como o ciclo hidrológico e o ciclo do carbono, alterando o microclima (FINI et al., 2017).

Quanto mais se prevê a ocupação urbana sem diretrizes, maiores serão as ocorrências de enchentes e, conseqüentemente, de prejuízos causados por inundações. Assim, pode-se verificar a fragilidade hidrológica das bacias hidrográficas em relação à impermeabilização do solo e torna-se fácil perceber a razão do crescimento de enchentes nas regiões urbanas do país (BENINI; MENDIONDO, 2015).

Um dos problemas presentes nas grandes cidades, é a ocorrência periódica de alagamentos. Estas ocorrem devido ao alto grau de impermeabilização dos solos, que faz com que aumente a velocidade de escoamento das águas superficiais, diminuindo seu tempo de concentração na bacia hidrográfica e refletindo-se em grandes volumes no curso d'água principal, cujo extravasamento causa prejuízos econômicos e sociais (DO CARMO BETTINE et al., 2012).

De acordo com Pinto (2011), dentre esses prejuízos, pode-se citar:

- A perda de vidas;
- A degradação do ambiente e da paisagem urbana;

- Os prejuízos patrimoniais, econômicos e financeiros, que recaem sobre as pessoas, empresas e órgãos públicos e;
- Os danos intangíveis.

Um dos grandes desafios na gestão da drenagem urbana é a mitigação dos impactos causados pela impermeabilização do solo urbano. É fato que o principal fator que altera a magnitude do escoamento superficial direto, gerado em uma bacia hidrográfica, é decorrente da urbanização, resultante da cidade legal, da cidade ilegal e da cidade informal. Diante desse cenário, os meios técnico e acadêmico vêm se esforçando, conjuntamente, no desenvolvimento de pesquisas para a descoberta de medidas que possam, de alguma forma, mitigar os efeitos causados pelo homem, no tocante à impermeabilização do solo, uma vez que, segundo Pompêo (2000), a drenagem urbana já não é um assunto que possa ser tratado exclusivamente no âmbito técnico da engenharia porque a falência das soluções técnicas está hoje evidenciada pela problemática ambiental (POMPÊO, 2000).

Uma das principais consequências do desenvolvimento urbano, no meio ambiente dos pequenos rios urbanos, tem sido a redução da vazão no período de estiagem. Com o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização, os aquíferos não são abastecidos e a capacidade do rio é reduzida. O escoamento, nesse período, muitas vezes, é devido a esgoto jogado in natura ou a ligação clandestina de esgoto cloacal no pluvial (TUCCI, 2007) .

Em cidades cuja densificação urbana já atingiu a totalidade da área da bacia ou encontra-se na iminência de atingi-la e em empreendimentos que venham a alterar as características atuais das bacias, há necessidade da busca por novas soluções que, atuando junto à micro drenagem, possam resultar em menores volumes a serem encaminhados à macrodrenagem (PINTO, 2011).

3.2 Medidas mitigadoras

Diante desse contexto, algumas medidas mitigadoras para a correção dos prejuízos e impactos sociais decorrente desse crescimento descontrolado podem ser implementadas, visando a melhoria do sistema de drenagem e diminuição das inundações nos meios urbanos.

Tais medidas importam em planejamento integrado da bacia de drenagem, chegando a soluções abrangentes no espaço e no tempo, evitando medidas de caráter restrito, que apenas deslocam os problemas para a jusante.

Sendo assim, a drenagem urbana, que integra a infraestrutura das cidades, deve ser planejada juntamente com os demais dispositivos e incluídos no Plano Diretor Urbano e nas demais legislações municipais, de modo que possam ser corrigidos os inúmeros problemas de inundações urbanas, esgotamento sanitário, qualidade das águas servidas e descarte dos resíduos sólidos (lixo) (FLÁVIO, A. O. A.; COSTA, 2006).

A literatura vem mostrando que a redução da área impermeável pode compensar o impacto adverso de um possível cenário de aquecimento global na hidrologia urbana e na eficiência do sistema de drenagem urbana (PALLA; GNECCO, 2015).

A porcentagem de áreas permeáveis e as propriedades hidráulicas do solo são a chave dos parâmetros que influenciam no escoamento superficial das chuvas intensas (LIU; CHEN; PENG, 2015).

Os sistemas que mais avançaram neste sentido foram as abordagens americana LID (*Low Impact Development*), australiana WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) e a abordagem britânica de SUDS (*Sustainable Drainage Systems*) (FLETCHER et al., 2015).

Nos EUA, a utilização de LID é originária do *Maryland Department of Environmental Resources*, mais especificamente do condado de *Prince's George*, ainda da década de 90 (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). O LID é um programa de regulação das águas urbanas que teve início no final da década de 1990, com o objetivo de estimular a função da água da chuva que o local possuía em seu estado natural, antes de sofrer intervenção antrópica. As técnicas utilizadas, como telhados verdes, cisternas, jardins de chuva, pavimentos permeáveis e canais de infiltração, são geralmente menos onerosas que as práticas convencionais e, normalmente, têm um desempenho melhor (ANDRADE; BLUMENSCHHEIN, 2013).

O Programa WSUD, da Austrália, tem como objetivo integrar o planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo urbano da água, que garante a gestão da água urbana, que é sensível aos ciclos hidrológicos e ecológicos naturais.

Princípios e aplicações de “impacto zero” (LID) vem sendo desenvolvidos para mitigação do impacto da impermeabilização em áreas urbanas em eventos de escoamento superficial de águas pluviais para aspectos de quantidade e qualidade.

Em particular, LIDs têm sido projetados para assemelhem-se às condições de pré-desenvolvimento das condições hidrológicas, promovendo o processo de armazenamento, infiltração e evapotranspiração (PALLA; GNECCO, 2015). Similarmente, podem ser usados os Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (SUDS), assim como os Projetos Urbanos Sensíveis à Água (WSUD).

A perspectiva da sustentabilidade associada a drenagem urbana introduz uma nova forma de direcionamento das ações, com base no reconhecimento da complexidade das relações entre ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade. Esta postura exige que a drenagem e o controle de cheias em áreas urbanas sejam reconceitualizadas em termos técnicos e gerenciais (POMPÊO, 2000).

Uma bacia urbana localizada em Roma, Itália, conseguiu reduzir o risco de inundação drasticamente utilizando práticas de gerenciamento das águas pluviais de maneira integrada e extensiva às práticas que visam a redução dos impactos causados pelas cheias em zonas urbanas (RECANATESI et al., 2017).

Ainda na tentativa de controlar e minimizar os efeitos das inundações, podem ser destacados dois sistemas de drenagem urbana: os Sistemas Clássicos e os Sistemas Compensatórios (CASTRO, 2011).

Os sistemas clássicos possuem embasamento nos princípios higienistas, ou seja, a drenagem de águas pluviais e servidas deve ter uma evacuação rápida à jusante, por meio de condutos.

No entanto, o avanço no conhecimento das áreas de microbiologia e epidemiologia foi capaz de detectar que o aumento das aglomerações urbanas, a partir do século XIX, contribuiu para a ocorrência do papel sanitário de águas pluviais como transmissora de doenças, ensejando para uma mudança de concepção das relações entre urbanismo e águas urbanas, levando ao conceito higienista de drenagem.

A abordagem higienista é caracterizada pela evacuação rápida das águas pluviais e servidas, por meio de impermeabilização de áreas e sistemas de condutos artificiais (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Nesse contexto, criou-se o entendimento segundo o qual o afastamento da água da chuva deve se dar o mais rapidamente possível para a jusante, por meio de obras de canalização, que acelerem o escoamento e o afastamento rápido dos picos de cheias para os corpos d'água de jusante.

Contudo, tal entendimento tem sido questionado há alguns anos (TUCCI; MELLER, 2007), o que significa uma mudança radical na filosofia das soluções estruturais em drenagem urbana. Isso porque, aquela visão “higienista”, adotada pelos responsáveis pela drenagem de águas pluviais que, a exemplo dos projetos de esgotos sanitários, preconizavam a rápida retirada das águas drenadas dos locais onde haviam sido originadas, ocasionou a sobrecarga de córregos receptores, ou seja, da macrodrenagem.

A abordagem tradicional para o manejo das águas urbanas tem contribuído para aumentar os prejuízos financeiros, ambientais, estéticos, à saúde, e, sobretudo, à qualidade de vida da população. O crescimento das cidades dos países em desenvolvimento ainda se baseia em modelos ultrapassados com a massiva impermeabilização do solo e canalizações artificiais (TUCCI, 2008).

Já os sistemas compensatórios, ao contrário dos clássicos, não têm o objetivo de escoar o mais rápido possível para a jusante, mas sim, retardar o escoamento e fazer com que se infiltre. Estas técnicas visam compensar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos. Esse tipo de drenagem tem inúmeras vantagens em relação ao preceito tradicional. Como são técnicas de que visam à infiltração de águas pluviais, além de contribuírem para a redução dos volumes escoados, elas favorecem a recarga das águas subterrâneas. Contudo, o uso de técnicas de infiltração pode ficar prejudicado em áreas onde o solo não possui uma boa capacidade de infiltração, em locais onde o lençol freático esteja em profundidade pequena em relação à estrutura.

Nessa perspectiva, se faz necessário o desenvolvimento de novas estratégias para limitar, mitigar ou compensar a impermeabilização do solo (RODRÍGUEZ-ROJAS et al., 2018).

Em uma visão mais ampla, pode-se afirmar que essas novas estratégias podem ser definidas em duas categorias principais:

- Medidas de controle estruturais e;
- Medidas de controle não estruturais.

As medidas de controle estruturais caracterizam-se por obras de engenharia que podem vir a alterar as características dos rios e diminuir os riscos de enchentes (TUCCI, 2007).

Já as medidas de controle não estruturais caracterizam-se por ações preventivas. São aquelas de caráter extensivo, com ações abrangendo toda a bacia, ou de natureza institucionais, administrativas ou financeiras, adotadas individualmente ou em grupo, espontaneamente ou por força da legislação, destinadas a atenuar os deflúvios ou adaptar os ocupantes das áreas potencialmente inundáveis a conviverem com a ocorrência periódica do fenômeno (PINTO, 2011).

As medidas de controle estruturais, também chamadas de tecnologias compensatórias podem ser classificadas em função de sua atuação na bacia hidrográfica como:

- Medidas de controle centralizado ou controle à jusante. São medidas de grande porte e que privilegiam o armazenamento rápido (bacias de detenção) ou por longos períodos (bacias de retenção); e
- Medidas de controle na fonte ou distribuídas. Nesses dispositivos, a água da chuva será controlada na fonte produtora de escoamento superficial. São dispositivos de pequenas dimensões e que propiciam infiltração e armazenamento.

Como exemplos de medidas de controle na fonte, citamos:

- Trincheiras drenantes;
- Valas de infiltração;
- Poços de infiltração;
- Telhados armazenadores;
- Microrreservatórios;
- Pavimentos permeáveis.

Para Peng et al (2018), o pavimento permeável é a melhor escolha individual comparada com as demais e os telhados armazenadores a melhor escolha quando combinada com outras medidas.

Em áreas residenciais, a malha viária é a principal responsável pelo aumento de volume e carga de poluentes de origem difusa. Já em áreas comerciais os telhados e estacionamentos são os maiores contribuintes pelo acúmulo de cargas poluentes de deposição atmosférica e emissão de veículos (PSAT, 2005).

3.3 Pavimentos permeáveis

3.3.1 Conceitos

Pavimentos permeáveis são infraestruturas de interfaces com capacidade suficiente estrutural dos carregamentos de veículos e modificar os componentes do ciclo hidrológico em comparação com o pavimento impermeável convencional (SANSALONE et al., 2012).

Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas-reservatório (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013). Essa denominação se refere às funções realizadas pela matriz porosa de que são constituídos, ou seja:

- Função mecânica, associada ao termo estrutura, que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos.
- Função hidráulica, associada ao termo reservatório, que assegura reter temporariamente as águas pela porosidade dos materiais, seguido pela drenagem e, se possível, pela infiltração no solo de subleito.

O funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis é baseado nos seguintes princípios:

- Entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento. Essa entrada pode ser feita de forma distribuída (no caso de revestimentos porosos, que permitem a infiltração da água) ou localizada (por meio de drenos laterais ou bocas de lobo).
- Estocagem temporária da água no interior do pavimento, nos vazios da camada reservatório.
- Evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, liberação para a rede de drenagem ou uma combinação das duas formas.

3.3.2 Breve Histórico

O pavimento permeável ou poroso foi inicialmente empregado na França, nos anos 1945-1950, porém sem muito êxito, pois, na época, a qualidade do ligante asfáltico se apresentava heterogênea e de pouca trabalhabilidade, não sustentando as ligações da estrutura por causa do excesso de vazios. O pavimento permeável foi novamente utilizado vinte anos mais tarde, no final dos anos 1970, quando alguns países como a França, os Estados Unidos, o Japão e a Suécia voltaram a se interessar pelo pavimento poroso (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

No mundo

A utilização desse tipo de pavimento tem ganhado destaque nos Estados Unidos, vez que vários estados têm criado leis mudando os objetivos e métodos de drenagem urbana, impondo a máxima infiltração ou armazenamento temporário da água de escoamento superficial.

Nos EUA, com a promulgação da regulação federal de águas pluviais, diversas comunidades pelo país passaram a instalar medidas de controle de águas de chuva, para atender metas de qualidade e quantidade, sendo o pavimento permeável o mais popular por ser de fácil implantação e pode ser usado em áreas de estacionamentos (BRASWELL; WINSTON; HUNT, 2018); (USEPA, 2009).

Na França, em 1978, foi lançado um programa de pesquisa para explorar novas soluções para a diminuição das inundações. Dentre essas pesquisas, o pavimento permeável, também chamado pavimento como estrutura-reservatório, destacou-se como uma das soluções mais interessantes, graças a sua facilidade de integração ao ambiente das cidades. Desde então, esse tipo de pavimento passou a ser objeto de pesquisas e experimentações, sendo alcançado um domínio da técnica e suas vantagens. O pavimento permeável passou, então, por um importante desenvolvimento industrial, iniciado em 1987, e é hoje amplamente utilizado em vias, calçadas, praças etc (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

No Japão, o pavimento permeável é utilizado em programas que abrangem todas as técnicas de infiltração. Tais técnicas são utilizadas principalmente nos grandes centros urbanos, em lugares disponíveis e que podem ser inundados, tais como quadras de esporte de universidades, pátios de escolas etc.

Na Suécia, a utilização do pavimento permeável foi incentivada por sua contribuição para a solução de dois outros problemas importantes: (i) a redução do nível freático levou à diminuição da umidade do solo e, conseqüentemente, ao adensamento do solo argiloso local; (ii) os danos causados pelo gelo no norte da Suécia, onde as rodovias e as canalizações de água pluvial situadas perto da superfície sofrem danos consideráveis cujos reparos exigem grandes despesas. A larga implantação de pavimentos permeáveis interrompeu a redução do nível do lençol freático e reduziu a necessidade de redes pluviais (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

Em 2014, o governo chinês propôs o plano para construção de cidades esponjas em escala nacional, com a inovação de buscar alternativas ecológicas para mitigar os impactos relacionados a água resultando nos problemas de “muita água” ou enchentes, ou “pouca água” ou escassez de água, e “água suja” ou água poluída (HU et al., 2018).

A cidade de esponja é uma cidade que tem a capacidade de integrar a gestão da água urbana nas políticas e projetos de planejamento urbano. Ela tem o planejamento adequado e as estruturas legais e ferramentas para implementar, manter e adaptar os sistemas de infraestrutura para coletar, armazenar e tratar (excesso) da água da chuva (www.mdpi.com).

A concepção chinesa de cidade esponja propõe uma cidade que tenha uma boa flexibilidade em termos de adaptação as mudanças ambientais e responda aos desastres naturais, similar a uma esponja. A cidade passa a ter possibilidade do auxílio pela absorção, armazenamento, infiltração e purificação da água no momento das chuvas e pode liberar água armazenada quando necessário (PENG et al., 2018).

Mais recentemente, outros países têm adotado o controle na fonte do escoamento superficial como meta para soluções de problemas em drenagem urbana. Dentre eles a Austrália que, desde 1996, tem pesquisado as formas de controle na fonte e incorporado as técnicas de pavimentos permeáveis a diversos projetos de loteamentos urbanos, áreas industriais e estacionamentos.

O programa do governo australiano “Desenho Urbano Sensível à Água” tem como foco a questão da influência das configurações urbanas sobre os fluxos de recursos. Visa assegurar que o desenvolvimento urbano e paisagem urbana sejam cuidadosamente projetados, construídos e mantidos de modo a minimizar os impactos sobre o ciclo da água urbano.

O programa tem como objetivo reduzir o consumo de água potável, maximizar a água de reuso, reduzir a descarga de águas residuais, minimizar a poluição de águas pluviais antes de serem descartadas no ambiente aquático, maximizar a proteção das águas subterrâneas. Este programa com “gestão total do ciclo hidrológico” está sendo aplicado na Cidade de Melbourne, em resposta às secas prolongadas, ao crescimento populacional e à crescente poluição de cursos d’água locais. Baseado em uma abordagem gerencial integrada, o conselho local desenvolveu políticas sensíveis à água e diretrizes que abrangem todos os componentes do ciclo hidrológico urbano, incluindo o abastecimento de água, o manejo de águas pluviais, o esgotamento sanitário e o meio ambiente hídrico natural (ANDRADE; BLUMENSCHHEIN, 2013).

Outra política adotada pelo governo no estado de Victória na Austrália é do efeito zero de desperdícios de materiais de construção e demolição. Verificou-se através de testes que esse material pode ser semelhante as especificações recomendadas pela ASTM como agregado para bases de pavimentos permeáveis (RAHMAN et al., 2015).

Há duas décadas atrás, não havia especificações para pavimentos permeáveis no Reino Unido e a sua utilização era rara, mas nos dias de hoje é frequentemente utilizado em áreas de estacionamentos e residenciais. A forma mais comum de utilização no Reino Unido é com

camada de geotêxtil com o objetivo de reter poluentes da água de chuva e reforçar no processo de biodegradação junto com o pavimento permeável (HEWEIDAK; AMIN, 2019).

No Brasil

Podemos destacar alguns estudos como a construção de pista experimental em pavimento permeável em área de estacionamento localizada nas dependências do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e no Campus da USP. O experimento no IPH foi construído em 2004 (ACIOLI, 2005) em duas tipologias de pavimento permeável, bloco vazado e asfalto poroso (JABUR et al., 2015). Nesse experimento, o objetivo foi avaliar a capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis por meio da Norma ASTM C1701 por meio da metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos. Posteriormente foi realizada avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial (CASTRO et al., 2016). Na pista experimental no campus da USP, os procedimentos de projeto e obra foram apresentados (VIRGILIIS, 2009) e posteriormente avaliado seu desempenho (PINTO, 2011).

Um marco para as práticas sustentáveis, na qual se enquadra o pavimento permeável foi em 2012, na criação da certificação Qualiverde pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, através do decreto nº35745, de junho de 2012, com o objetivo de incentivar empreendimentos que contemplem ações e práticas sustentáveis destinadas a redução dos impactos ambientais (RIO DE JANEIRO, 2012).

O Qualiverde abrange ações relativas ao projeto, gestão da água, eficiência energética e desempenho térmico. Para cada um destes itens, a empresa é pontuada de acordo com os mecanismos economizadores que utilizar. Um conjunto de leis foi criado pela prefeitura para incentivar a adoção de práticas de sustentabilidade nas construções do município. A lei de benefícios fiscais propõe a concessão de descontos para alguns tributos municipais como o Imposto sobre Serviços (ISS) durante a obra; isenção/desconto de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) durante a obra; isenção/desconto no Imposto de Transações de Bens Imóveis (ITBI) ao adquirente final e desconto do IPTU após o Habite-se.

A qualificação é opcional e aplicável aos projetos de edificações novas e existentes, de uso residencial, comercial, misto ou institucional. O certificado é concedido aos empreendimentos seguindo critérios de pontuação. Aquele que atingir, no mínimo, 70 pontos será classificado como *Qualiverde* e o que atingir 100 pontos receberá o selo *Qualiverde Total*.

O pavimento permeável faz parte dos itens: Pavimentos permeáveis em, pelo menos, 40% da área de passeio (2 pontos) e acréscimo de mais 10% de área permeável além da legislação (5 pontos).

De acordo com a rede digital AECweb (Arquitetura, Engenharia e Construção), o setor da construção civil da cidade do Rio de Janeiro aderiu ao programa de certificação sustentável do município em busca dos benefícios fiscais do Qualverde incrementando a prática do uso de pavimentos permeáveis principalmente em condomínios.

Já em 2013, foi criada a Especificação Técnica N° 003/2013 pela Prefeitura de São Paulo, regulamentando critérios de projeto e obras em concreto asfáltico poroso nas vias públicas submetidas a tráfego leve em São Paulo (SÃO PAULO, 2013).

Em 2015, foi dado mais um passo no Brasil para o sistema construtivo: a criação da NBR 16416:2015 com título “Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos”. A norma aborda requisitos mínimos para projeto, especificação, execução e manutenção do pavimento. Sua criação serve para assegurar a qualidade do procedimento executivo da tecnologia e, assim, contribuir para disseminação da técnica no mercado (ABNT, 2015).

Em maio de 2016, foi construída outra pista experimental no campus da USP com o intuito de estudar a influência de dois tipos de materiais granulares para bases em pavimentos permeáveis. No experimento foi empregado agregado reciclado na primeira metade e agregado do tipo brita 1 na segunda metade. Posteriormente realizou-se ensaios de permeabilidade de acordo com a NBR ABNT 16.416, concluindo que a permeabilidade do pavimento não apresentou variação significativa devido ao tipo de base empregado (ONO; BALBO; CARGNIN, 2017).

3.3.3 Tipos de pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis podem ser classificados de três diferentes tipos, de acordo com a atuação no controle do escoamento superficial, sendo eles (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005)::

- Pavimentos com revestimento superficial permeável: possibilita a redução da velocidade de escoamento superficial, a retenção temporária de pequenos volumes na própria superfície do pavimento e permite a infiltração de parte das águas pluviais;
- Pavimentos dotados de estrutura porosa: no reservatório é efetuada a detenção temporária de pequenos volumes de águas pluviais, provocando o amortecimento de vazões e a alteração temporal dos hidrogramas;

- Pavimentos com estrutura porosa e dispositivos de facilitação da infiltração: esse tipo de pavimento atua tanto na detenção temporária como na infiltração de águas pluviais. Neste tipo pavimento obtêm-se o amortecimento de vazões, a alteração temporal nos hidrogramas e a redução dos volumes efetivamente escoados.

Quanto ao tipo de revestimento, os pavimentos permeáveis podem ser classificados em três tipos (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013):

- Revestimento de concreto asfáltico poroso (Camada porosa de atrito – CPA).
- Pavimentos de concreto de cimento Portland poroso.
- Pavimentos com blocos pré-moldados de concreto de cimento Portland vazados e preenchidos com material drenante granular ou areia.

Existem vários tipos de revestimentos que podem ser considerados permeáveis. Os mais comumente encontrados são os blocos de concreto, que podem ser vazados ou não, e o revestimento poroso, também conhecido no Brasil como concreto asfáltico poroso ou ainda, camada porosa de atrito (CPA). Entretanto, cabe a diferenciação para dois termos usualmente mencionados na bibliografia corrente, são eles: pavimentos permeáveis e pavimentos porosos (PINTO, 2011).

O pavimento permeável de concreto poroso é uma solução ambientalmente aceitável e sua composição consiste em ligante de cimento, agregados graúdos, água e outras misturas. Muitos estudos têm analisado a influência de misturas (látex, fibras, sílica, fumo e agregados finos) no comportamento do pavimento permeável e o efeito de fibras sintéticas na composição do cimento, onde a maioria dos esforços são demandados no melhoramento das propriedades mecânicas e de durabilidade ao invés da performance hidráulica (KIM; GADDAFI; YOSHITAKE, 2016).

Entende-se por pavimento permeável aquele cujo material de fabricação não é necessariamente poroso, mas que possibilita a penetração da água entre ele (BUTLER, D., DAVIES, 2011).

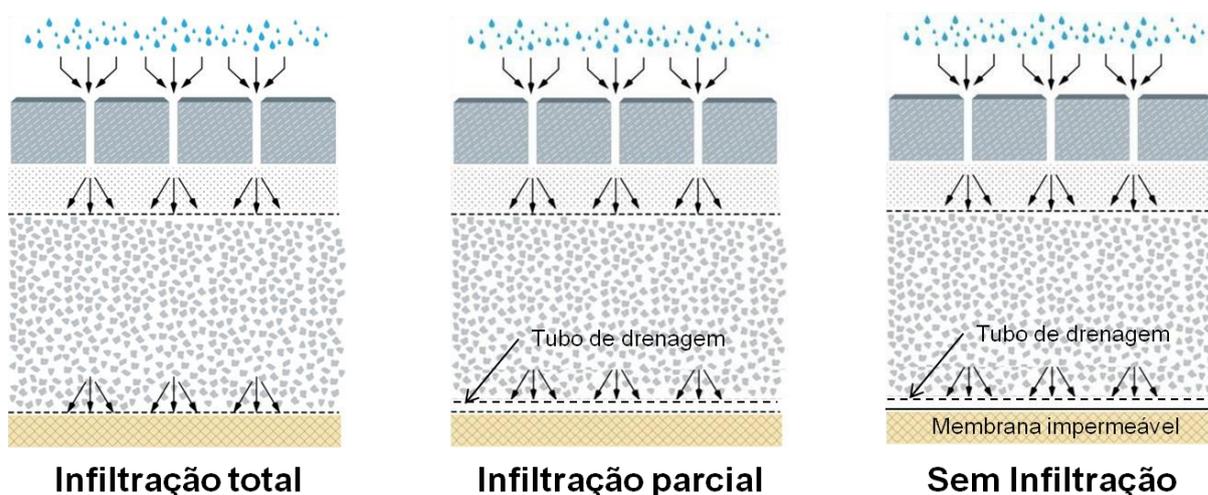
O revestimento poroso, por sua vez, é aquele que permite a água penetrar por seus poros (BUTLER, D., DAVIES, 2011).

Schueler (1987) preconiza que os pavimentos permeáveis sejam projetados considerando-se três categorias distintas. Estas dependem basicamente da capacidade de armazenamento da camada granular de reservatório implantada sob o revestimento e o grau de infiltração do solo adjacente e podem ser:

- Sistema de infiltração total: neste sistema as águas de chuva infiltram-se totalmente no solo.

- Sistema de infiltração parcial: neste sistema uma parcela da contribuição infiltra no solo e a outra é coletada em um sistema de drenagem auxiliar.
- Sistema de infiltração para controle da qualidade da água: este sistema não é dimensionado para armazenar toda a água de chuva, mas somente a parcela inicial da chuva que é responsável pela maior aglutinação de poluentes.

Figura 01: Tipos de Infiltração



Fonte: ABCP.

Martins (2014) pesquisou a permeabilidade de blocos intertravados tradicionais (usados como calçadas) tanto com diferentes idades (novos e antigos), como também com diferentes tipos de paginação de assentamento (espinha de peixe e trama). Dos resultados obtidos, foi possível observar que pavimentos mais novos apresentaram valores ligeiramente maiores de infiltração. Já em relação ao tipo de assentamento, blocos com juntas alargadas do tipo espinha de peixe mostraram-se mais permeáveis do que blocos com junta alargada do tipo trama. Martins (2014) explicou a diferença encontrada devido ao fato da paginação tipo trama possuir uma menor área de juntas, logo uma menor área de infiltração (MARTINS, 2014).

Quanto a eficiência na redução de escoamento superficial, um estudo realizado em St. Louis nos EUA, monitorou três vielas em diferentes revestimentos de pavimento permeável (concreto poroso, asfalto poroso e blocos de concreto porosos). O asfalto poroso foi o que teve a porcentagem mais fraca e os blocos de concreto porosos apresentaram a mais alta porcentagem na redução do escoamento superficial (ALYASERI; ZHOU, 2016).

3.3.4 Vantagens e Desvantagens

Os pavimentos permeáveis possuem certas vantagens, em relação ao pavimento convencional (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013). A seguir apresentam-se algumas vantagens dos pavimentos permeáveis:

- Permite a recarga do lençol freático;
- A construção dos dispositivos de infiltração é, normalmente, simples e rápida;
- Integra-se completamente à obra, não necessitando de espaço exclusivo para ele;
- Melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo das encaminhadas para o sistema de drenagem;
- Reduz significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia onde o dispositivo está instalado;
- Controle da erosão do solo;
- Filtragem de poluentes;
- Economia em função da redução ou eliminação do sistema de microdrenagem;
- Aumento da segurança e conforto das vias, pela diminuição de derrapagens e ruídos;
- Custos similares ao do pavimento convencional.

As vantagens são voltadas pelas suas propriedades hidrológicas, que aumentam a capacidade de filtragem da água, retenção das águas de chuva, recarga do lençol freático, controle da poluição de hidrocarbonetos e remoção de sólidos suspensos (ADEWUMI et al., 2016).

Os aquíferos urbanos são contaminados, principalmente, pelos aterros sanitários e pela infiltração indiscriminada de águas pluviais contaminadas pelo transporte de lixo, sedimentos e lavagem de ruas. O aumento de áreas permeáveis diretas, ou seja, que permitem a infiltração de água não contaminada, possibilita reduzir o impacto sobre o aquífero (TUCCI, 2007).

A poluição oriunda do escoamento superficial de vias urbanas vem sendo identificado como uma das maiores causas da deterioração da qualidade das águas. Os componentes poluidores desse escoamento são muito complexos e incluem cerca de 600 xenobioticos componentes. Inúmeros fatores afetam a qualidade do escoamento superficial urbano como volume de tráfego de veículos, períodos secos antecedentes e intensidade e duração da chuva (WU et al., 2014).

O sistema de pavimentos permeáveis possui excelente performance em tratar águas de chuvas referente a hidrocarbonetos de petróleo, sólidos suspensos, metais (cobre, ferro, manganês e

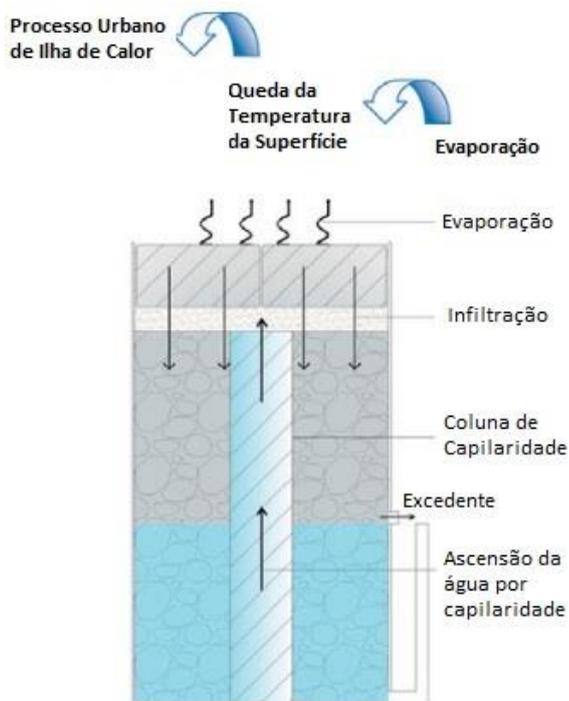
zinco), nutrientes além de reduzir a carga total de poluentes (DRAKE; BRADFORD; VAN SETERS, 2014).

A quantidade de material em suspensão presente na água do escoamento pluvial é bem mais significativa no início da chuva (*first flush*). Esse efeito depende do período seco antecedente e intensidade da chuva (LEE et al., 2011). Os primeiros 25mm de escoamento superficial geralmente transportam a maior parte de carga poluente (SCHUELER, 1987).

Além das vantagens apresentadas, esse tipo de pavimento tem potencial adicional na oportunidade de coleta e reuso das águas pluviais. Comparando os resultados de uma pesquisa realizada pela Universidade do Sul da Austrália com o Guia Australiano de Reciclagem de Água, verificou-se que em geral, a água captada através do pavimento permeável tem qualidade adequada para irrigação de áreas verdes (KAZEMI; HILL, 2015).

Para mitigação dos problemas de ilha de calor em áreas urbanas, foi criado na Universidade de Tongii, um novo pavimento permeável com aumento da evaporação através de colunas de capilaridade capaz de resfriar até 9,4°C em relação ao pavimento permeável convencional (LIU; LI; PENG, 2018).

Figura 02: Pavimento permeável com aumento da evaporação



Fonte: (LIU; LI; PENG, 2018)

Outros benefícios adicionais da utilização do pavimento permeável consistem no aumento da segurança no tráfego de veículos por reduzir o *splash and spray* (esguicho e jato) de água, melhorando a visibilidade e tração em condições de chuva (ZHANG; GUO, 2015).

Em que pese as vantagens desse tipo de pavimento, sua utilização é restrita, requerendo solos permeáveis profundos (no caso do sistema de infiltração total), tráfego leve e o uso de terrenos adjacentes (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

Além disso, também foram observadas as seguintes desvantagens na utilização desse tipo de pavimento:

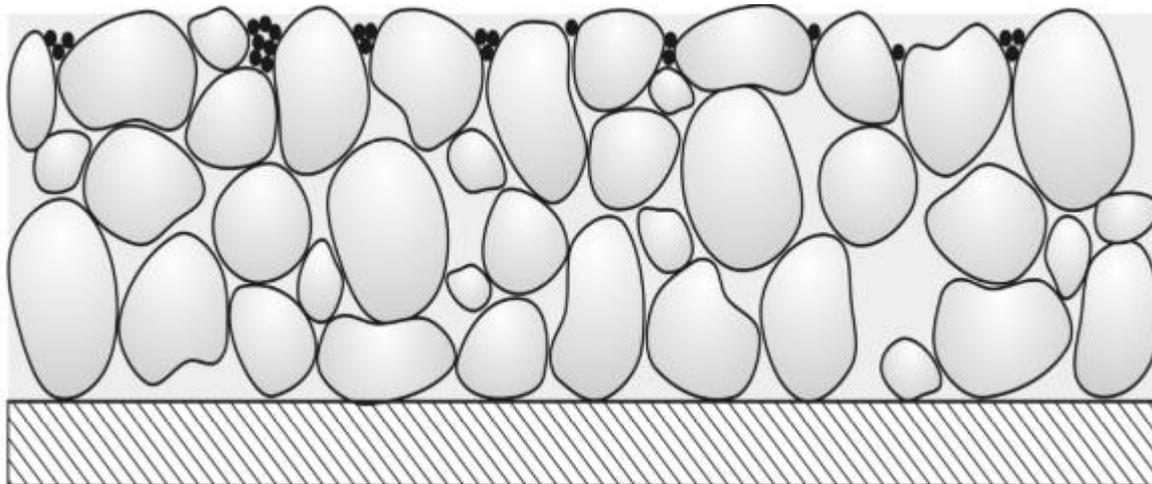
- Pouco conhecimento e imperícia com relação à aplicação da tecnologia.
- Tendência do pavimento poroso se tornar obstruído se inapropriadamente instalado ou conservado.
- Risco de falha considerável no pavimento poroso devido à colmatção ou má construção.
- Risco de contaminação do aquífero, dependendo das condições do solo e de sua susceptibilidade nas imediações.
- Em caso de obstrução tanto da camada superficial quanto da estrutura-reservatório, a reabilitação do pavimento é difícil e cara (COLLINS; HUNT, 2007).

Kamali et al (2017) realizou um estudo investigando a performance do pavimento permeável quanto ao carreamento de sedimentos durante sua via útil. Proposta principal do estudo foi avaliar o tempo e espaço na tendência a obstrução desse pavimento permeável e encontrar vulnerabilidades quanto a colmatção durante chuvas torrenciais.

Foi realizado experimento de laboratório com modelo de infiltração simplificado pra avaliar a tendência e longevidade da capacidade de infiltração do pavimento permeável na sua vida de operação.

O experimento resultou com a aplicação de sedimentos carreados sobre o pavimento ocasionavam uma falha no sistema no sétimo ano hidrológico. Não se observou escoamento superficial no início até o quinto ano hidrológico. No sexto ano houve um incremento de 15% no escoamento superficial e no sétimo de 15% a 30%. Sedimentos passaram a infiltrar nas juntas entre os blocos durante esses anos, aumentando o seu coeficiente de escoamento superficial (KAMALI; DELKASH; TAJRISHY, 2017).

Figura 03: Pavimento permeável com superfície colmatada.



Fonte: Castro, 2011.

Percebe-se, pois, uma certa contradição no que diz respeito às vantagens e às desvantagens do uso de pavimentos permeáveis. Ao mesmo tempo em que podem auxiliar na filtragem de poluentes, podem também contaminar o lençol freático. Isso reflete a necessidade de caracterização das águas pluviais, aspectos físicos do local de instalação da estrutura e vulnerabilidade do lençol freático. Por esse motivo, estudos sobre o comportamento dessas estruturas para as condições brasileiras são de fundamental importância para verificação se as mesmas não oferecem riscos sanitários (CASTRO, 2011).

3.4 Diretrizes de projeto viário com uso de pavimento permeável

De acordo com Suzuki (2013, p.186), a concepção de projeto de pavimentos permeáveis é decisiva para seu bom funcionamento. Um projeto bem elaborado leva a um sistema mais funcional, de menor custo e que minimizará problemas futuros.

A indicação dos procedimentos referentes as sucessivas etapas técnicas a serem cumpridas foram definidas de acordo com as Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários do DNIT (2006) e as Instruções de Serviços (IS) foram os documentos que forneceram a orientação geral para os diversos estudos e projetos conforme quadro 01.

Quadro 01: Estudos e projetos e suas diretrizes básicas

Estudos de Tráfego em área urbana	IS-230, IP-02 e IP-06 (PMSP)
Estudos hidrológicos	IS-203
Estudos Topográficos	IS-204 e IS-205
Estudos Geotécnicos	IS-206
Projeto Geométrico de rodovias – Área Urbana	IS-234
Projeto de Terraplenagem	IS-209
Projeto de Drenagem	IS-210
Projeto de Pavimentação	ABNT NBR 16.416/2015 e IP-06 (PMSP)
Projeto de Calçadas	ABNT NBR 9.050/2015
Orçamento da Obra	IS-220

Fonte: Compilado pelo Autor

As diretrizes de estudos e projetos de pavimentação deverão estar de acordo as orientações da ABNT NBR 16.416/2015 que regulamenta os requisitos e procedimentos referentes aos pavimentos permeáveis de concreto.

3.4.1 Atividades de Projeto

Nesta revisão bibliográfica, serão apresentadas as etapas de projeto de pavimento permeável que consistem em: concepção funcional do empreendimento, estudo de viabilidade; estudos complementares (características gerais do local, características do subleito, estudos de tráfego, estudos hidrológicos e estudos topográficos) e projetos (geométricos, terraplenagem, drenagem, pavimentação e urbanização).

3.4.2 Concepção Funcional do Empreendimento

De acordo com norma ABNT NBR 16.416/2015, o projeto de um pavimento permeável deve considerar o tipo de uso e local de implantação, sendo que a definição dos materiais e espessuras das camadas a serem executadas deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico.

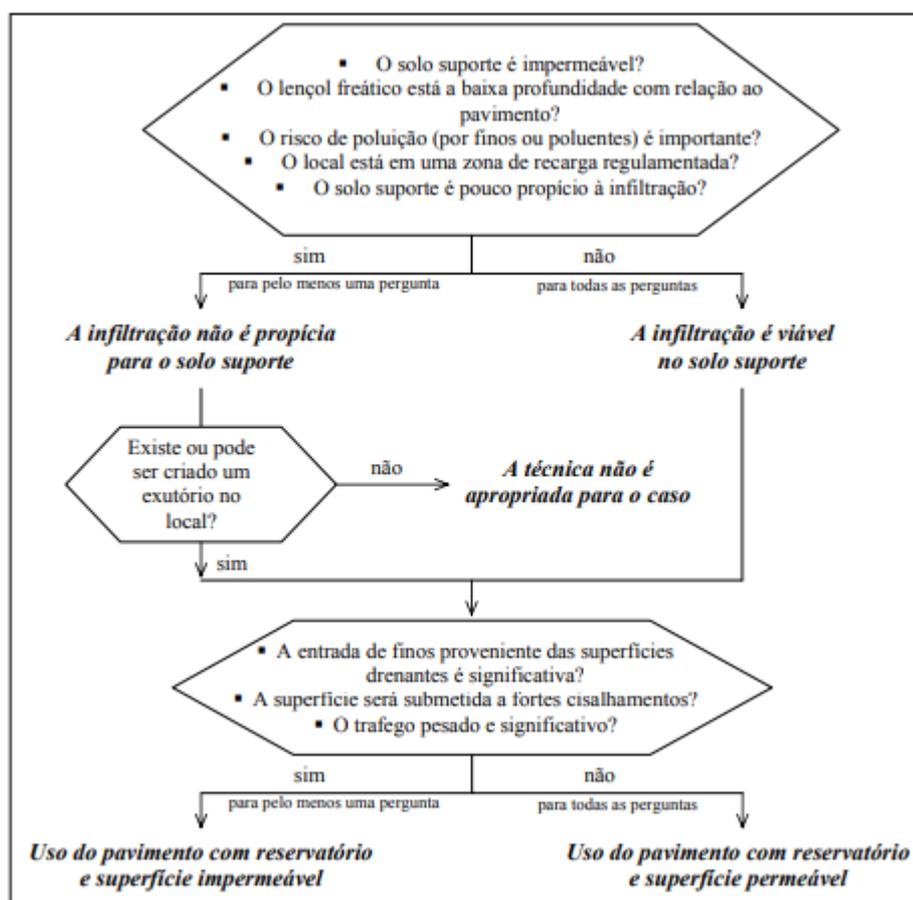
Nesse estudo deverá ser definida as características físicas e operacionais da obra onde será executado o pavimento permeável, definindo o tipo de uso: estacionamentos, calçadas, vias urbanas de baixo tráfego, parques e etc.

3.4.3 Análise de Viabilidade Técnica

O estudo de viabilidade, que normalmente antecede o projeto, deve permitir verificar se o pavimento permeável é a alternativa de controle na fonte mais adequada para as condições do local de implantação.

Os requisitos referem-se principalmente às condições do solo subjacente, ao lençol freático local e à carga difusa de finos e poluentes que serão levadas para o pavimento.

Figura 04: Fluxograma para análise de viabilidade



Fonte: Acioli, 2005.

O fluxograma não é determinante, sendo apenas um guia para tomada de decisão.

3.4.4 Estudos hidrológicos

Os Estudos Hidrológicos têm por objetivo a obtenção de elementos e o estabelecimento de critérios para a determinação das vazões para o dimensionamento das obras de drenagem e dimensionamento hidrológico-hidráulico da camada reservatório do pavimento permeável.

Nessa fase são definidos parâmetros como curva IDF de chuva representativa da região, parâmetros relativos a cobertura de solo, além da fixação do tempo de retorno, método de cálculo das vazões de projeto e cálculo da precipitação excedente.

3.4.4.1 Tempo de Retorno

Definida a Equação de Chuva a ser utilizada, passa-se à fixação dos períodos de recorrência, a qual envolve o conceito de “coeficiente de segurança” que se queira prestar às obras de drenagem. A um maior período de recorrência correspondente uma menor probabilidade de ocorrência de um afluxo às obras de drenagem superior ao previsto.

O quadro 02 apresenta alguns valores sugeridos pelo (CETESB, 1980):

Quadro 02: Valores de período de retorno

Tipo de Obra	Tipo de ocupação	Período de retorno (anos)
Micro-drenagem	Residencial	2
Micro-drenagem	Comercial	5
Micro-drenagem	Edifícios de serviços ao público	5
Micro-drenagem	Aeroportos	2-5
Micro-drenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro-drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

3.4.4.2 Cálculo das Vazões de Projeto

Para o cálculo do pico de vazão será baseada na metodologia utilizada para bacias até 2,0 Km², indicada também para dispositivos de drenagem superficial onde os valores são obtidos pela fórmula do Método Racional (SUDERHSA, 2002):

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Em que:

Q é a vazão em m³/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

i é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

A é área de contribuição drenada (Km²).

3.4.4.3 Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial (C), também chamado de coeficiente de deflúvio ou coeficiente de run-off, é a relação entre a quantidade total de água precipitada na bacia hidrográfica. Esse coeficiente pode referir-se a uma única precipitação ou a todas as precipitações que ocorreram em um determinado intervalo de tempo (PINTO, 2011), e deve ser selecionado pelo projetista, em função das características do terreno.

Tal coeficiente é de fundamental importância na aplicação do método racional, assim como a determinação do tempo de concentração. Contudo, a maior dificuldade na aplicação desse método reside, justamente, na criteriosa escolha do coeficiente de deflúvio (C) (DNIT, 2005). Isso porque, a caracterização urbana, do ponto de vista hidrológico, envolve um grande número de variáveis, dependendo do modelo que se quer aplicar, estando as dificuldades na falta de registros hidrológicos, nos levantamentos topográficos incompletos, precários ou defasados e nas informações cadastrais inexistentes. Dessa forma, mesmo modelos simplificados, que estabelecem uma relação entre as precipitações e o escoamento superficial, como o método racional, têm seus parâmetros de entrada adotados mais pela experiência do projetista (de forma até mesmo empírica) que pautados por um método que assegure a confiança nos valores obtidos (GAROTTI; BARBASSA, 2010).

A exemplo do que foi dito, reproduzem-se a seguir, nos quadros 03 e 04, os coeficientes de escoamento superficial ou coeficiente run-off, para aplicação em drenagem urbana e chuva de 5 a 10 anos de tempo de recorrência:

Quadro 03: Coeficiente de deflúvio para bacias

Descrição das áreas das bacias tributárias	Coeficiente de deflúvio C
Comércio	
Áreas Centrais	0,70 a 0,95
Áreas de Periferia do centro	0,50 a 0,70
Residencial	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades isoladas	0,40 a 0,60
Multi-unidades ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Área de apartamentos	0,50 a 0,70
Industrial	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90

Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Fonte: (DNIT, 2005)

O quadro 04 apresenta os coeficientes de deflúvio para algumas superfícies típicas.

Quadro 04: Coeficiente de deflúvio de superfícies – DNIT

Tipo de Superfície	Coeficiente de Deflúvio C
Ruas:	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajeto de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Gramados: solos arenosos	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados: solo compacto	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: (DNIT, 2005)

Os valores de referência do coeficiente de escoamento adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo, estão apresentados no quadro 05.

Quadro 05: Coeficiente de deflúvio adotados pela PMSP

Zonas	Coeficiente de escoamento
Edificação muito densa	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa	0,60 a 0,70
Edificações com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
Edificações com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25

Matas, parques e campos de esportes	0,05 a 0,20
-------------------------------------	-------------

Fonte: (MARCHIONI; SILVA; MAYOR, 2015) apud Wilken, 1978

3.4.4.4 Coeficiente de Escoamento Superficial para Pavimentos Permeáveis

Genz (1994) lista valores de coeficientes de escoamento para diversos tipos de superfícies urbanas. Dentre elas, observa-se que a cobertura de gramado possui um coeficiente de escoamento variando de 0,54 a 0,68; o paralelepípedo possui um coeficiente de escoamento variando de 0,88 a 0,95 (GENZ, 1994). Já pesquisas semelhantes realizadas com o pavimento permeável chegaram a resultados de 0,14 a 0,76 ou ainda de 0,05 (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000) para o coeficiente de escoamento em revestimentos porosos

No estudo em pista experimental em Auckland na Nova Zelândia, os coeficientes de escoamento superficial para o pavimento permeável ficaram entre 0,29 a 0,67 baseados em observações de eventos de chuva maiores que 7,0mm (FASSMAN; BLACKBOURN, 2010).

Em 2004, foi construído um módulo experimental de estacionamento em pavimento permeável, localizado no IPH/UFRGS e monitorado. Nesse estudo, uma metade foi revestida em asfalto poroso e a outra em blocos vazados, sendo ambas executadas com reservatório de brita.

Esse módulo experimental foi monitorado numa primeira etapa, entre os meses de maio a novembro de 2004, e numa segunda etapa entre os meses de dezembro de 2007 a outubro de 2009.

A média de escoamento superficial dos eventos analisados no revestimento em asfalto poroso na primeira etapa foi de aproximadamente 5,08% e do bloco vazado de 2,27% e máximo próximo de 10% para os dois tipos de revestimentos (CASTRO, 2011).

Na segunda etapa de monitoramento, o revestimento de asfalto poroso apresentou escoamento superficial máximo de 61,4% e média de aproximadamente 30% e o revestimento em blocos vazados foi de no máximo 15%.

Para o Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba - PR (2002), o coeficiente de escoamento (C), utilizado no método racional, depende das características do solo, cobertura, tipo de ocupação, tempo de retorno e intensidade de precipitação.

O quadro 06 apresenta os valores de coeficiente de escoamento (C) para superfícies urbanas (SUDERHSA, 2002):

Quadro 06: Coeficiente de flúvio de superfícies – SUDERHSA

Tipo de Superfície	Valor Recomendado	Faixa de Variação
Concreto, asfalto e telhado	0,95	0,90 – 0,95
Paralelepípedo	0,70	0,58 – 0,81
Blockets	0,78	0,70 – 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,02 – 0,05
Solo compactado	0,66	0,59 – 0,79
Matas, parques e campo de esporte	0,10	0,05 – 0,20
Gramma solo arenoso	0,10	0,08 – 0,18
Gramma solo argiloso	0,20	0,15 – 0,30

Fonte: (SUDERHSA, 2002)

Um outro quadro com coeficientes de escoamento (C) foi elaborado através de experimento que buscou simular chuvas sobre diferentes tipos de superfícies a fim de determinar as leis de infiltração e o escoamento superficial (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000).

Como resultado das simulações, observaram-se os seguintes resultados para o escoamento superficial (C):

Quadro 07: Coeficiente de deflúvio de superfície – Araújo, Tucci, Goldenfum, 2000

Revestimento	Chuva total (mm)	Escoamento total (mm)	Coeficiente de escoamento
Solo compactado	18,66	12,32	0,66
Paralelepípedos	18,33	10,99	0,60
Bloco de concreto	19,33	15,00	0,78
Concreto	18,33	17,45	0,95
Blocos vazados	18,33	0,50	0,03
Concreto permeável	20,0	0,01	0,005

Fonte: (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000)

No trabalho de Pinto (2011), por seu turno, foi estudada uma pista experimental destinada ao estacionamento de veículos e tráfego leve, a partir da instrumentação e análise de dados obtidos no modelo físico instalado no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Essa pista experimental constou de área com estrutura de pavimentação com revestimento em blocos de concreto poroso (BCP) e base em brita graduada de 0,26m, além de outra área com revestimento em camada porosa de atrito (CPA) e base em macadame hidráulico de 0,27m.

Foi monitorado o evento de chuva do dia 4 de fevereiro de 2010, quando ocorreu precipitação acumulada de 42,6mm (tempo de retorno de 2,5 anos), que resultou em coeficiente de escoamento superficial (C), na estrutura com revestimento em BCP, igual a 0,14.

No evento do dia 25 de março de 2010, que teve precipitação total de 73,40mm e duração de 2 horas e 10 minutos (tempo de retorno de 10 anos), resultou em coeficiente de escoamento superficial (C) igual a 0,48, na mesma estrutura acima indicada.

3.4.4.5 Intensidade Máxima da Chuva

A intensidade máxima da chuva, com um determinado período de retorno, pode ser definida por três elementos básicos: a intensidade média para a duração e o período de retorno considerados; a duração do evento e a distribuição temporal da chuva.

Diversas metodologias para a obtenção da intensidade máxima da chuva ou chuva de projeto tem sido desenvolvidas e, em sua grande maioria, não visam a reprodução de eventos reais, mas sim de situações com efeitos críticos ao escoamento. Tais procedimentos são obtidos, a partir da análise de dados observados de precipitação da região em estudo e devem ser aplicados em projetos dessa mesma região (BEMFICA; GOLDENFUM; SILVEIRA, 2000).

Podem ser determinadas com base em uma série de dados obtida a partir do monitoramento das precipitações durante um período de tempo longo e representativo dos eventos extremos do local por uma rede confiável de pluviógrafos. Na ausência desses dados, há uma série de métodos empregados na determinação de equações de chuvas intensas que pode ser caracterizada através das relações intensidade-duração-frequência (IDF) (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

A forma de se encontrar as relações IDF são expressões obtidas de ajustes de distribuição de frequência, como:

$$i = \frac{K \cdot T r^m}{(t + t_0)^n}$$

Em que:

i é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

Tr é o período de retorno (anos);

t é o tempo de duração da chuva (min) e

m,n, to e K são parâmetros relativos ao ajuste da equação.

3.4.4.6 Definição de Áreas de Contribuição

Para a caracterização das áreas de contribuição, será necessário estudo com a utilização do levantamento topográfico e delimitar as suas sub bacias. Por este trecho estar localizado numa área urbana os cálculos levarão em consideração áreas edificadas.

3.4.4.7 Precipitação Excedente

Nem toda a chuva se transforma em escoamento. Parte dela é perdida no processo de escoamento por meio de infiltração, de evaporação, de alagamento na superfície e até de evapotranspiração. O restante da chuva é chamado de precipitação efetiva ou precipitação excedente e transforma-se em escoamento (GRIBBIN, 2017). Para o dimensionamento hidrológico/hidráulico da camada reservatório do pavimento permeável, faz-se necessário a definição da chuva excedente.

Dentre as diversas metodologias para determinação do escoamento superficial direto, o método do SCS *Curve Number* se destaca como a mais popularizada entre os projetistas (NAGARAJAN; POONGOTHAI, 2012).

No método apresentado pelo *Soil Conservation Service* (SCS) é feita a separação de escoamento por meio do número de deflúvio (CN), considerando os atributos físicos da bacia e os diferentes tipos de uso de ocupação (MATHIAS; CUNHA; MORUZZI, 2013).

A determinação do valor de *CN*, que pode variar de 0 a 100, é feita pelo uso de tabelas em função do tipo do solo, condições de uso e ocupação e umidade antecedente. No caso de bacias que apresentem diferentes tipos de solo e ocupação, adota-se a média ponderada dos diversos *CN's* correspondentes às áreas homogêneas (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Esse método, baseado em mais de 3 mil tipos de solos e coberturas de vegetação, estabeleceu uma relação empírica que visa correlacionar a capacidade de armazenamento pela bacia a um índice denominado como *CN*, ou *Curve Number* (CANHOLI, 2005). A estimativa de precipitação efetiva é apresentada pelas Equações 01, 02 e 03.

$$S_D = \frac{25.400 - 254CN}{CN} \quad (01)$$

$$I_a = 0,2 \cdot S_D \quad (02)$$

$$P_E = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S_D} ; P > I_a \quad (03)$$

Onde:

S_D = Potencial de retenção do solo, após o início do escoamento superficial (mm);

CN = Índice *Curve Number*;

I_a = Perdas iniciais por retenção da chuva na bacia (mm);

P_E = Precipitação efetiva (mm);

P = Precipitação total (mm).

A equação tem o objetivo de determinar a precipitação considerando a capacidade do solo de precipitação. Esse método torna-se inviável no caso em que a precipitação total é menor que 20% do potencial de retenção do solo. Alguns autores sugerem essa relação em 10% ($I_a = 0,1 \cdot S_D$) para áreas urbanas com predomínio de áreas permeáveis, no intuito de representar a redução de interceptação e de depressões evidentes em áreas urbanas (CANHOLI, 2005).

O potencial de retenção da bacia está relacionado à determinação do índice CN. Esse valor é baseado no tipo de uso e ocupação do solo, no tipo hidrológico do solo e na umidade antecedente. O valor de CN varia entre 0 e 100. Quanto maior o valor, menor é a capacidade de armazenamento pluvial da bacia, logo, maior a contribuição sobre o escoamento superficial da mesma.

No desenvolvimento do método, os solos são classificados em quatro tipos, que variam de acordo com a capacidade de infiltração do solo predominante na bacia. O quadro 08 apresenta a descrição de cada solo considerado pelo método.

Quadro 08: Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração (Método do SCS).

Grupo Hidrológico do Solo	Descrição	Capacidade de Infiltração (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos ($h > 1,50$ m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%	1,20 - 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ($h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila de até 10%	0,80 - 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas sub-superficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)	0,40 - 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis	0,15 - 0,00

Fonte: Canholi, 2005.

As condições de umidade antecedente utilizadas pelo método se baseiam na quantidade de chuva acumulada nos últimos 5 dias. São elas:

Condição I: Solos secos, ou com precipitações acumulada menores que 15 mm nos últimos 5 dias.

Condição II: Situação média dos solos na época de cheias, com precipitações acumuladas entre 15 a 40 mm. Essa condição é normalmente utilizada para determinar os hidrogramas de escoamento superficial em vazões de projeto.

Condição III: Solos úmidos, em que as precipitações acumuladas nos últimos 5 dias ultrapassam o valor de 40 mm de chuva.

O quadro 09 fornece os valores de *CN* para diferentes tipos de ocupação e para os quatro grupos hidrológicos. Os valores de *CN* apresentados correspondem à condição II de umidade, podendo ser convertida para as demais pelas Equações 04 e 05.

Quadro 09: Descrição de *CN* para diferentes solos e coberturas de uso e ocupação.

Tipos de Solo	Condições de Superfície	Área Impermeável (%)	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Estacionamentos e superfícies pavimentadas	Áreas impermeáveis: estacionamentos pavimentados, telhados, caminhos e passagens (excetuando-se passeios)	100	98	98	98	98
Comercial	Bairros urbanos de comércio e negócios	85	89	92	94	95
Industrial	Bairros industriais	72	81	88	91	93
Residencial	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 500m ² ou menos (densidade elevada)	65	77	85	90	92
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 1000m ²	38	61	75	83	87
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 1350m ²	30	57	72	81	86
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 2000m ² (densidade baixa)	25	54	70	80	85
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 8000m ²	12	46	65	77	82
Florestas	Madeira - Boa condição		30	55	70	77
Gramados, Pastagens	Pastagem, gramados ou campos - Boa Condição		39	61	74	80
Espaços Abertos	Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.). Condição satisfatória (cobertura de grama de 50% a 70%).		49	69	79	84
Agricultura	Cultivos em fileira - Linhas retas com resíduos de cobertura de vegetação do cultivo.		64	75	82	85

Fonte: Canholi, 2005.

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - (0,058 \cdot CN(II))} \quad (04)$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + (0,13 \cdot CN(II))} \quad (05)$$

Onde $CN(I)$, $CN(II)$ e $CN(III)$ são as condições de umidade nas três condições supracitadas. Dessa forma, é necessário definir a condição e a umidade da bacia analisada, e com auxílio das equações citadas alterar o valor de CN para a situação definida. Ao final, é calculado o valor escoamento superficial em função do CN encontrado.

Em situações que não se encontram as mesmas condições de uso e de ocupação do solo, de umidade e de tipo hidrológico de solo, é necessário que seja realizada uma média ponderada dos valores de CN em função das áreas delimitadas com a mesma característica.

3.4.4 Estudos geotécnicos

Os Estudos Geotécnicos têm por objetivo a determinação das características do subleito ao longo da área em estudo e estudo de empréstimos e ocorrência de materiais conforme a IS-206. O estudo deverá ser através de serviços de campo, com furos de sondagem a trado, com profundidade média de 1,5m abaixo da linha de greide projetada, numa distância de no máximo 200m.

Deverá ser coletada amostras com os respectivos registros de identificação, os quais foram submetidos aos ensaios geotécnicos recomendados, ou sejam:

- Limite de liquidez e plasticidade;
- Granulometria;
- Compactação;
- ISC.

Os estudos geotécnicos deverão conter as informações a seguir:

- Capacidade de suporte do solo de subleito conforme ABNT NBR 9895;
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme ABNT NBR 13292 ou 14545;
- Consideração da condição de saturação do solo no caso dos sistemas de infiltração total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático, sendo necessário que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,6m de distância do nível mais alto do lençol.

3.4.5 Estudos topográficos

O levantamento topográfico cadastral deverá abranger toda a extensão da via definida para projeto, transversalmente e longitudinalmente, contendo todos os elementos transversais e longitudinais a via (BELO HORIZONTE, 2011):

- a) transversalmente à via deverão ser levantadas e amarradas às larguras das calçadas, do canteiro central, das ilhas, das pistas de rolamento, das sarjetas, das faixas de trânsito e de estacionamento, zebrados e outros;
- b) longitudinalmente à via deverão ser levantadas e amarradas todas as ocupações das interferências existentes na pista de rolamento, calçadas, ilhas, canteiros, anotando as edificações que geram demanda de veículos significativos tais como: escola, supermercado, etc.;

3.4.6 Estudos de tráfego

O objetivo dos estudos de tráfego é obter, através de métodos sistemáticos de coleta, dados relativos aos cinco elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu inter-relacionamento. Por meio dos estudos de tráfego é possível conhecer o número de veículos que circula por uma via em um determinado período, suas velocidades, suas ações mútuas, os locais onde seus condutores desejam estacioná-los, os locais onde se concentram os acidentes de trânsito, etc. Permitem a determinação quantitativa da capacidade das vias e, em consequência, o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhoria da circulação ou das características de seu projeto (DNIT, 2006b).

Os dados de tráfego são fundamentais para a determinação dos elementos necessários para fins de dimensionamento do pavimento, como o número equivalente (N) de operações de um eixo tomado com padrão. Convencionou-se internacionalmente um eixo de referência que pudesse traduzir a influência deletéria dos eixos diversos sobre o pavimento. Foi escolhido o eixo simples padrão – ESP com roda dupla, com carga total de 8,2 tf (18.000lb) e pressão de pneu de 5,6kgf/cm² (80 psi).

Para a definição do número “N” as Instruções de Projeto da Prefeitura de São Paulo (IP-02 e IP-06) correlacionam esse parâmetro com a classificação funcional das vias conforme quadro 10 (SÃO PAULO, 2004).

Quadro 10: Parâmetros de tráfego correlacionados classificação funcional de vias

Função predominante	Tráfego Previsto	Vida de Projeto	Volume Inicial Faixa mais carregada		Equivalente/ Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,7 x 10 ⁴ a 1,40 x 10 ⁵	10 ⁵
Via local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40 x 10 ⁵ a 6,80 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Vias Coletoras e Estruturais	MÉDIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 ⁶ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 ⁷ a 3,3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷
	MUITO PESADO	12	>10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 ⁷ a 6,7 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de ônibus	VOLUME MÉDIO	12		<500		3 x 10 ⁷	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		>500		5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷

Fonte: (SÃO PAULO, 2004)

3.4.6 Projeto geométrico

É a representação gráfica das características geométricas dos alinhamentos horizontais e verticais de uma via, trecho ou interseção de vias (BELO HORIZONTE, 2011).

No projeto geométrico definem-se as áreas de calçadas e pistas, ilhas, canteiros, acréscimos, reentrâncias, rebaixos, permeabilização do solo, drenagem e pavimentação através de alinhamentos de meios-fios, sob a forma de tangentes, curvas, transições e canalizações.

A velocidade, os aspectos físicos do terreno (topografia) e de sua ocupação e as características e comportamento de pedestres, motoristas e veículos, são os principais parâmetros para o desenvolvimento do projeto geométrico.

Em áreas urbanas, onde praticamente todo sistema viário já é consolidado, esses projetos restringem-se a adequações ou correções geométricas das vias existentes.

3.4.7 Projeto de terraplenagem

O Projeto de Terraplenagem deve ser elaborado de forma a definir as escavações e aterros necessários à implantação de um empreendimento de acordo com os elementos fornecidos pelos estudos topográficos, definições do projeto geométrico, além das recomendações dos estudos geotécnicos.

Os elementos básicos empregados no projeto de terraplenagem são:

- Geometria do traçado definido no projeto geométrico;
- Largura da plataforma.

Os estudos geotécnicos devem fornecer indicações para se proceder à classificação e destino dos materiais escavados.

3.4.8 Projeto de drenagem

O projeto de drenagem é desenvolvido com os dados obtidos dos Estudos Hidrológicos, compreendendo o dimensionamento, a verificação hidráulica, a funcionalidade e o posicionamento das obras e dispositivos (JABÔR, 2019).

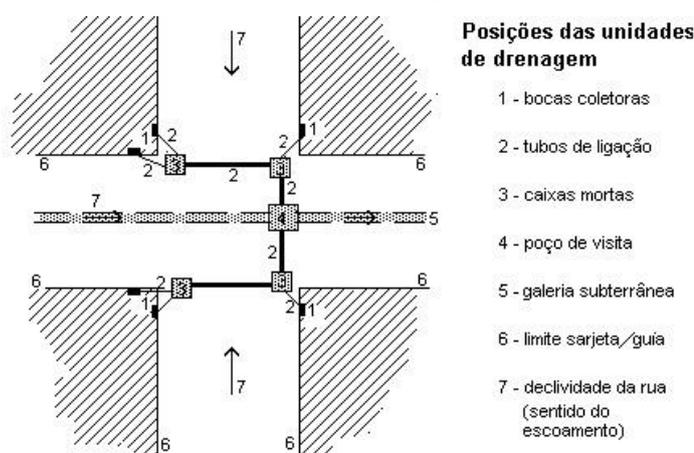
Nesta fase, os dispositivos de drenagem são dimensionados, projetados e detalhados.

Os dispositivos de drenagem têm como objetivos de um modo geral, captar e conduzir para local adequado toda a água que sob qualquer forma venha a atingir o corpo estradal.

Os dispositivos comumente utilizados em projetos de drenagem urbana são:

- Dispositivos Coletores: Caixas Ralo,
- Meio Fio – Sarjeta,
- Bueiros Tubulares,
- Caixas de Passagem,
- Poços de Visitas.

Figura 05: Tipos de dispositivos de drenagem urbana convencional



Fonte: <http://profmbacelar.blogspot.com/2013/02/micro-drenagem.html>

Caixas Ralo

A localização das caixas ralo ou bocas-de-lobo deve respeitar o critério de eficiência na condução das vazões superficiais para as galerias. É necessário colocar bocas-de-lobo nos

pontos mais baixos do sistema, com vistas a impedir alagamentos e águas paradas em zonas mortas.

Sarjeta

Constituem dispositivos que captam as águas que precipitam diretamente sobre a plataforma. Estabelecida a geometria para a sarjeta, função das disponibilidades de largura da plataforma, seu dimensionamento consiste no estabelecimento de seu comprimento crítico, para todas as situações peculiares de planta e perfil.

Assim sendo, o comprimento crítico será atingido, quando estiver para se dar o transbordamento da sarjeta.

Os estudos do comprimento crítico das sarjetas se baseiam no critério de equivalência de vazões, considerando-se a fórmula do método racional com a equação da continuidade.

$$Q = 1/n \times A \times R \times I^{1/2}$$

- Q = vazão máxima admissível (m³/s);
- I = Declividade da sarjeta (%);
- n = Coeficiente de Rugosidade de Manning;
- A= área molhada da sarjeta (m²);
- R= raio hidráulico (m).

Bueiros Tubulares

O dimensionamento é fundamentado nas vazões obtidas no âmbito dos estudos hidrológicos, considerando-se o período de recorrência e tempo de concentração estipulados.

No dimensionamento, utiliza-se a fórmula de Manning.

$$D = 1,55 \cdot [(Q \times n) / I^{1/2}]^{3/8}$$

- D = Diâmetro [m];
- Q = Vazão [m³/s];
- I = Declividade [%];
- n = Coeficiente de Rugosidade de Manning.

$$V = [0,397 \times D^{2/3} \times I^{1/2}] / n$$

- V = Velocidade média [m/s];
- D = Diâmetro [m];
- I = Declividade [%];
- n = Coeficiente de Rugosidade de Manning.

Poços de Visita

DAEE/CETESB (1980) sugere o uso do quadro 11, que apresenta o espaçamento máximo recomendado para os poços de visita. Deve haver poços de visita nos pontos onde há mudança de direção, de declividade e de diâmetro e nos cruzamentos de vias públicas.

Quadro 11: Espaçamento entre poços de visita

Diâmetro do conduto (cm)	Espaçamento (m)
30	120
50-90	150
100 ou mais	180

Fonte: (SMDU, 2012) apud DAEE/CETESB (1980)

O afastamento entre poços de visita consecutivos deve ser o máximo possível, por critérios econômicos.

O cálculo do comprimento crítico da sarjeta serve de balizamento para definição do espaçamento entre caixas ralo e poços de visita.

3.4.9 Projeto de pavimentação

O dimensionamento do pavimento permeável deve ser elaborado a partir do enfoque mecânico, possuindo a espessura necessária para o suporte do tráfego de projeto e enfoque hidráulico, para armazenamento e amortecimento da vazão afluente no qual a espessura é função da precipitação, da duração da chuva, do período de retorno e da porosidade do material granular adotado para o reservatório.

A permeabilidade das camadas de revestimento é determinante para o sucesso do Projeto de Pavimentação permeável (PINTO, 2011).

A porosidade dos materiais constituintes das camadas de base e sub-base é o elemento fundamental na determinação da espessura da camada reservatório. Os vazios existentes entre

o material granular serão responsáveis pelo desempenho da estrutura projetada, pois permitirão a percolação da água e possibilitarão maior ou menor armazenamento da água de chuva.

3.4.9.1 Dimensionamento Mecânico

O pavimento é um sistema de camadas, de espessuras finitas, assentes sobre um semi espaço infinito, denominado de subleito. O dimensionamento de qualquer pavimento consiste em considerar um ponto P qualquer do sistema, seja ele no subleito ou no pavimento, e determinar para este ponto o estado de tensão, sua deformação e se ele vai ou não sofrer ruptura, quando o sistema for solicitado por uma carga de roda Q. O sistema será considerado satisfatório, do ponto de vista do dimensionamento, quando não houver ruptura em nenhum ponto ou a deformação máxima satisfizer os limites previamente fixados, devendo as espessuras das camadas ser as necessárias e suficientes para resistir aos esforços gerados pela carga. O dimensionamento de um pavimento tem por objetivo conceber uma estrutura, construída após a terraplenagem, destinada economicamente a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos e melhorar as condições de rolamento quanto à economicidade, comodidade e segurança (SENÇO, 2007).

Uma seção transversal típica de um pavimento - com todas as camadas possíveis - consta de uma fundação, o subleito, e de camadas com espessuras e materiais determinados através de métodos de dimensionamento (SENÇO, 2007) .

Existem várias teorias ou modelos para o estudo e dimensionamento do sistema de camadas múltiplas de pavimento. No entanto, devido à dificuldade de se aplicarem os métodos teóricos ao dimensionamento de pavimentos flexíveis, é que, predominantemente no Brasil, os métodos empíricos são os mais praticados. (GOIAS, 2002).

3.4.9.2 Dimensionamento hidrológico-hidráulico da estrutura reservatório

De acordo com Virgilis (2009), o dimensionamento envolve a determinação da altura do reservatório para acomodar o volume drenado pela superfície ou por outra contribuinte que escoe para a área do pavimento permeável.

O reservatório a ser dimensionado, deve possuir dimensões suficientes que acomodem o volume de escoamento de uma chuva de projeto, menos o volume de escoamento, que é infiltrado durante a chuva (VIRGILIIS, 2009).

Para o dimensionamento do pavimento permeável, quanto à capacidade da camada de reservatório, citamos o método proposto pelo *Interlocking Concrete Pavement Institute* (SMITH, 2001) adaptado do *Standard Specifications for Infiltration Practices* (ABNT, 2015):

$$H_{m\acute{a}x} = (\Delta Q_c \cdot R + P - fTe) / Vr$$

Onde:

$H_{m\acute{a}x}$ é a profundidade da camada de base granular (m);

ΔQ_c é a precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto (m);

R é a relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável (A_c/A_p);

A_c é a área de contribuição (m^2);

A_p é a área de pavimento permeável (m^2);

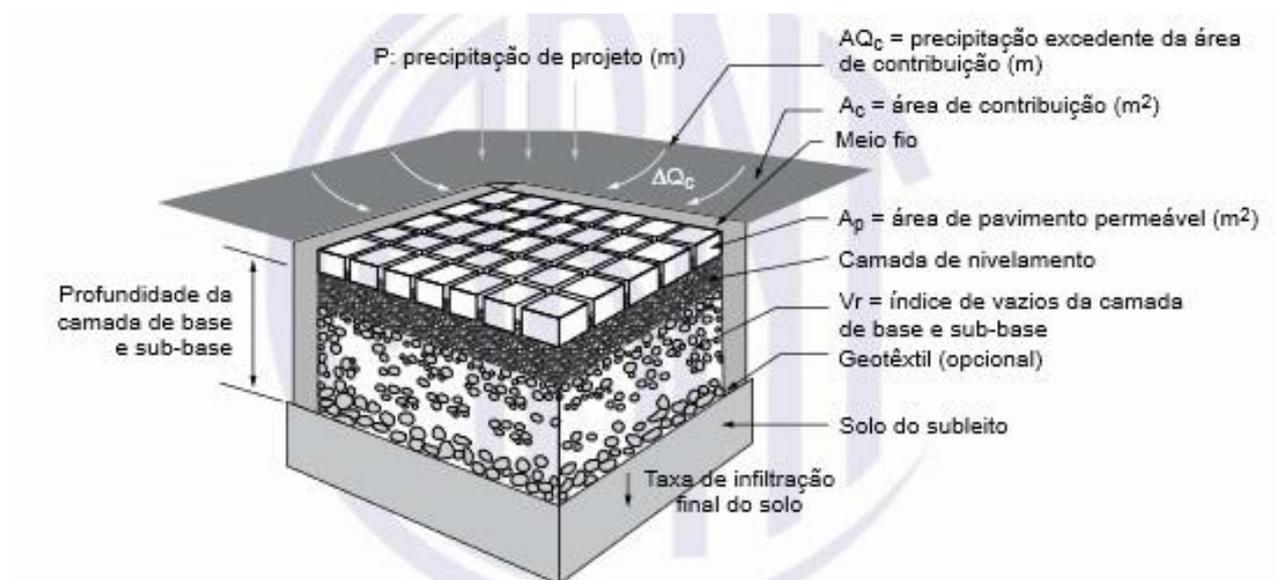
P é a precipitação de projeto (m);

f é a taxa de infiltração no solo (m/h);

Te é o tempo efetivo de enchimento da camada reservatório;

Vr é a porosidade do material de base/reservatório.

Figura 06: Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico



Fonte: ABNT, 2015

3.4.10 Projeto de urbanização

A mobilidade sustentável pode ser vista como uma forma de promover a redução da utilização do veículo privado, associada a medidas de uso do solo e transporte que facilitem o acesso da população às atividades, por meio da maior utilização da bicicleta, da caminhada e do transporte público (CAMPOS; RAMOS, 2005). Pode ser definida como resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visa proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não motorizados e coletivos de transporte, de forma efetiva, que não gere segregações espaciais, socialmente inclusivas e ecologicamente sustentáveis, ou seja, com base nas pessoas e não nos veículos (VIEIRA; MORASTONI, 2013). O Projeto de Urbanismo em empreendimentos viários, contempla calçadas e rampas de acessibilidade com base nos levantamentos topográficos e geométricos.

O projeto é concebido segundo as diretrizes da acessibilidade universal, através da NBR 9050/2015.

No contexto de mitigação de alagamentos, a calçada projetada deve incluir ainda o componente drenante. A associação do propósito de restauração do balanço hídrico dos pavimentos permeáveis aos objetivos de padronização e acessibilidade da “Calçada Legal” resultaria em grandes benefícios sociais (GAUDERETO; BROCCO, 2016) .

3.4.11 Análise de custos

Quando se trata de custos em obras de engenharia, deve ficar claro se a análise a ser feita levará em conta o ponto de vista econômico ou financeiro. Uma análise de custos do ponto de vista econômico procura avaliar todos os custos e benefícios reais para a comunidade favorecida pelo empreendimento, enquanto que a análise financeira diz respeito somente aos custos e receitas diretamente aplicáveis a uma organização particular (CIRIA, 1996).

Seja do ponto de vista econômico ou financeiro, uma análise de custos deve avaliar não apenas os gastos iniciais da obra, mas de toda a sua vida útil. Isso inclui custos de uma possível operação futura, de manutenção e de reposição, que podem incorrer de forma que o sistema possa desempenhar o papel para o qual foi projetado. Sendo assim, dificilmente se pode afirmar de forma definitiva que um pavimento permeável com estrutura reservatório custa mais ou menos que um pavimento comum com drenagem convencional. Os custos irão variar caso a caso, de acordo com as condições do terreno e da rede de drenagem local.

Pode-se observar que, em uma análise do ponto de vista econômico, a principal dificuldade consiste em quantificar em termos monetários alguns custos e benefícios referentes ao sistema.

Por exemplo, a análise dos custos ou benefícios ambientais decorrentes da contribuição dos pavimentos permeáveis para a recarga do aquífero requer uma avaliação dos possíveis efeitos da poluição e dos benefícios do aumento do nível do lençol (ACIOLI, 2005).

Uma das maiores questões quando se trata da aplicação dos dispositivos de controle na fonte do escoamento superficial é a comparação com os custos dos mecanismos de drenagem convencionais. No entanto deve-se refletir a respeito dos ganhos ambientais e humanos que o uso desses dispositivos acarreta para a comunidade. Diversas vezes, o aumento da área impermeável da bacia e suas consequências chegam a tal ponto que a aplicação do controle na fonte do escoamento superficial torna-se a única solução ambientalmente aceitável (ACIOLI, 2005).

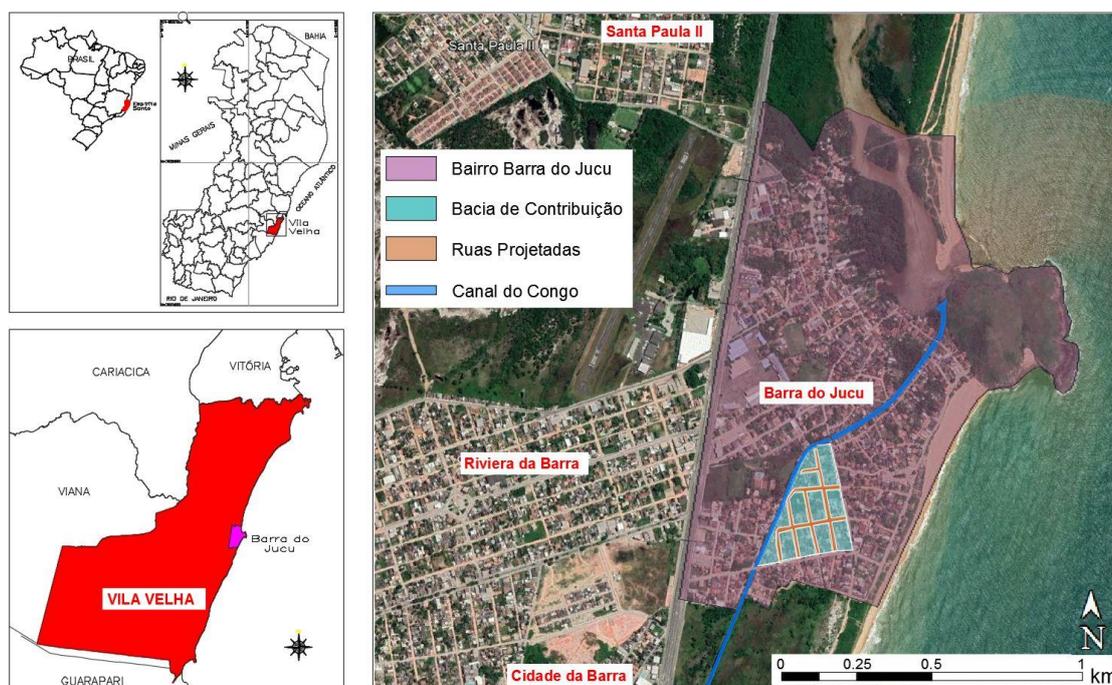
4 METODOLOGIA

Esse capítulo trata dos procedimentos metodológicos, com os parâmetros considerados para desenvolvimento de projeto de vias urbanas em pavimento permeável de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416 e em pavimentação e drenagem convencionais.

4.1 Área de estudo

A área para este estudo localiza-se no bairro da Barra do Jucu, localizado na Região Administrativa V do município de Vila Velha – ES, denominado como Grande Jucu.

Figura 07: Localização da área de estudo



Fonte: Próprio Autor

O bairro Barra do Jucu está inserido na bacia hidrográfica do Congo e contempla: Córrego do Congo, Córrego Boca da Mata e Rio da Draga (PMVV, 2010).

A situação da região é típica de diversas outras áreas litorâneas com a seguintes características:

- Área situada em planície costeira sob influência do nível das marés;
- Local com frequentes alagamentos;
- Ocupações de edificações das margens do corpo receptor, ocasionando seu estrangulamento e impossibilitando que ocorra pontos de deságue da drenagem das vias;

- Seção de vazão do corpo receptor com capacidade de desagüe deficiente;
- Rede de drenagem subterrânea afogada.

Figura 08: Imagens de alagamento na região em 11/2018

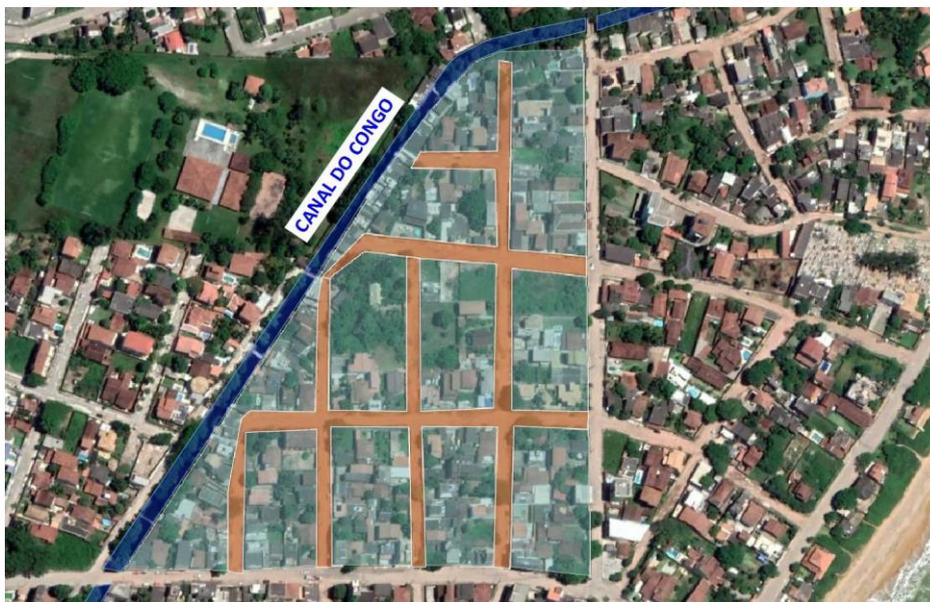


Fonte: Próprio Autor

4.2 Concepção funcional do empreendimento

Tratam-se de vias urbanas com função local e de tráfego leve, em área com característica predominantemente residencial, inseridas em uma região predominantemente de planície costeira.

Figura 09: Localização das vias projetadas



Fonte: Google Earth

4.3 Concepção do pavimento permeável

A concepção do pavimento permeável foi definida de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416 – Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos.

Como requisitos gerais de projeto, a NBR cita que o pavimento permeável deve considerar o tipo de uso e o local de implantação, sendo que a definição dos materiais e espessuras das camadas a serem executadas deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico.

O projeto deverá ainda atender no mínimo as especificações e conter as informações a seguir:

- Condições de implantação, utilização do pavimento e interferências em geral;
- Condições de carregamento quanto ao tipo de solicitação, se móvel ou estática, frequência, magnitude e configuração a qual o pavimento deve estar sujeito;
- Capacidade de suporte do solo, determinada pelo índice de suporte Califórnia, conforme ABNT NBR 9895;
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme a ABNT NBR 13.292 ou a ABNT NBR 14.545, dependendo do tipo de solo;
- Consideração da condição de saturação do solo no caso de sistemas de infiltração total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático, sendo necessário que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,60m de distância do nível alto do lençol;
- As áreas de contribuição não podem exceder em até cinco vezes as áreas permeáveis do pavimento;
- Declividade máxima de 5,0% para as áreas permeáveis;
- Declividade máxima de 20% para as áreas de contribuição, cabendo ao projetista determinar a necessidade de implantar dispositivos redutores de velocidade;
- Resistência mecânica mínima do revestimento;
- Massa específica do concreto permeável moldado no local;
- Detalhamento das juntas longitudinais e transversais, quando for o caso, do concreto permeável moldado no local;
- Avaliação do risco de contaminação do lençol d'água, mantendo-se a distância de no mínimo de 30m de fontes de captação de águas subterrâneas.

4.3.1 Definição do tipo de infiltração

De acordo com a NBR 16.416, a definição do tipo de infiltração do pavimento permeável depende da permeabilidade do subleito, lençol freático e presença de contaminantes no subleito. O quadro 12 apresenta os critérios definidos pela ABNT para essa definição.

Quadro 12: Definição do tipo de infiltração

Condições locais		Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
Permeabilidade do subleito definida pelo coeficiente de permeabilidade k (m/s)	$> 10^{-3}$	✓	✓	✓
	10^{-3} a 10^{-5}	x	✓	✓
	10^{-5} a 10^{-7}	x	x	✓
Máximo registro do lençol freático a pelo menos 1,0 m da camada inferior da base		x	x	✓
Presença de contaminantes no subleito		x	x	✓

Fonte: (ABNT, 2015).

4.3.2 Escolha dos materiais

Revestimento

Após análise dos critérios para a escolha do revestimento permeável a ser utilizado no projeto do empreendimento, verificou-se sobretudo quanto a disponibilidade e custo, além dos requisitos técnicos, o uso de blocos de concreto porosos.

Camada de base ou reservatório

O material que constitui a camada base do pavimento 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 comumente utilizado nessa camada do pavimento é do tipo granular, geralmente a brita ou macadame hidráulico (CASTRO, 2011).

Verifica-se que a base em brita graduada simples faixa B possui cerca de 29% de porosidade e o macadame hidráulico 40% (PINTO, 2011).

Analisando quanto as questões técnica e econômicas dos materiais disponíveis, foi utilizado no projeto a brita graduada simples (BGS).

4.4 Estudos hidrológicos

O estudo hidrológico teve como objetivo determinar a equação de chuva e as vazões de projeto. Para a equação de chuva, foi utilizado o estudo denominado “Altura-Duração-Frequência das Chuvas Intensas no Estado do Espírito Santo”, proposto por Sarmento para a região da Grande Vitória - ES (SARMENTO, 1985) :

$$i = \frac{973,47 \cdot T^{0,19}}{(t + 20)^{0,77}}$$

Em que:

i é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

T é o período de retorno (anos);

t é o tempo de duração da chuva (min) e

Para a determinação da vazão, foi utilizado o Método Racional, conforme a seguir:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Em que:

Q é a vazão em m³/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

i é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

A é área de contribuição drenada (Km²).

Diante dos valores para o coeficiente de escoamento C apresentados no capítulo 3.4.4 Estudos Hidrológicos , adotou-se para pavimentos revestidos com blocos de concreto convencional o coeficiente de 0,78 (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000) e blocos de concreto poroso de 0,40.

Figura 10: Bloco de concreto poroso x bloco de concreto convencional



Fonte: Laís Santana – Informativo UFES (2019) <http://www.ufes.br/conteudo/pavimento-permeavel-que-reduz-alagamento-sera-utilizado-na-barra-do-jucu>

A ampla gama de resultados nos variados cenários experimentais, portanto, permite inferir a necessidade de ampliação de simulações quanto a definições referentes ao coeficiente de escoamento superficial do pavimento permeável, possibilitando a sua utilização para o balizamento de parâmetros e configurações para projetos na região em que dito pavimento será empregado.

4.5 Estudos geotécnicos

Para o reconhecimento dos perfis dos solos e suas respectivas características geotécnicas, foi realizado investigação geotécnica.

A partir do reconhecimento topográfico da faixa de projeto, foi elaborado o plano de sondagens ou de investigações que apresenta informações quanto a distribuição, espaçamento e números das sondagens em função das características de cada via com o objetivo de realizar o estudo do subleito.

Para a região em estudo, os perfis longitudinais acompanham o terreno natural (greide colado), e ainda aterros com altura inferior a 0,60m, sendo, portanto, o espaçamento máximo dos furos de sondagem de até 200m para solos homogêneos (IS-207).

A figura 11 apresenta o plano de sondagem para estudo do subleito:

Figura 11: Plano de sondagem para estudo do subleito.



Fonte: Autor

A investigação geotécnica foi realizada entre no mês de julho de 2018, sendo realizados nove furos de sondagem a pá e picareta e coleta de materiais para realização de ensaios de laboratório.

Figura 12: Investigação geotécnica na área estudada.



Figura 13: Medição das espessuras das camadas de solos na área estudada.



Fonte: Autor

Perfil do Solo

Os perfis do solo verificado através dos boletins de sondagens registraram que as vias possuem camada superficial formada por entulho ou solo argiloso e abaixo, camada de areia fina e média.

Ensaio de caracterização geotécnica

Inicialmente, as amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas, passadas na peneira #4, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas, para serem empregadas nos experimentos geotécnicos a descritos seguir (SILVA et al., 2011).

Os ensaios de caracterização geotécnica foram:

- Granulometria;
- Limites de Atterberg.

Ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia

Os experimentos de compactação foram realizados na energia do ensaio Proctor Normal, segundo a metodologia descrita na ABNT (1986), para determinação do peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e da umidade ótima (W_{ot}) dos solos em estudo. Definidos os parâmetros ótimos de compactação, determinaram-se os valores dos parâmetros CBR e expansão das amostras de solo analisadas (DNIT, 2006a).

Resultados dos Ensaio

Os solos são identificados e classificados comumente em Mecânica dos Solos, sobretudo nos estudos preliminares ou nas obras de pequeno vulto, mediante a determinação de propriedades físicas via experimentos de granulometria e de limites de Atterberg.

Os índices físicos, limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) ainda são utilizados para avaliar a variação de volume dos solos compactados, bem como a variação do teor de umidade por secagem (contração) ou por imersão em água (expansão). A variação de volume excessiva, sobretudo das camadas subjacentes ou constituintes dos pavimentos, é comumente considerada indesejável para o bom comportamento mecânico dos materiais empregados em camadas de pavimentos. Para as finalidades viárias, DNIT (2006) adota um máximo de 25% para Limite de liquidez e 6% para o Índice de plasticidade, para materiais empregados em camadas de base estabilizadas granulometricamente (SILVA et al., 2011).

O resumo com os resultados dos ensaios é apresentado nos anexos.

Com essas informações definiu-se os seguintes parâmetros de projeto:

- Capacidade de suporte do solo de subleito conforme ABNT NBR 9895;
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme ABNT NBR 13292 ou 14545;

- Consideração da condição de saturação do solo no caso dos sistemas de infiltração total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático, sendo necessário que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,6m de distância do nível mais alto do lençol.

Capacidade de suporte do solo de subleito

A resistência mecânica dos solos e misturas pode ser avaliada pelo índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR), em que, além do valor da capacidade de suporte de amostras deformadas, obtém-se também, o valor da expansão que tem sido um parâmetro de grande importância em obras viárias (PEREIRA; MACHADO; CARVALHO, 2006).

A capacidade de suporte do solo de projeto é definida pelo Índice de Suporte Califórnia, a partir da análise dos resultados dos ensaios realizados.

Para definição do ISC de Projeto, foi realizada análise estatística dos ensaios de CBR das áreas das vias que deverá compor o subleito conforme tabela 01:

Tabela 01: Análise estatística do ISC

ISC					
MÉDIA	DESV PAD	MÁX	MÍN	n	ISC est.
8,90	3,62	12,52	5,28	9	5,28

Fonte: Próprio Autor

Os materiais constituintes do subleito deverão apresentar, portanto, ISC igual ou superior ao ISC Estatístico ou ISC de Projeto ($ISC \geq 5,3\%$) e, ainda, expansão $\leq 2\%$.

Taxa de infiltração do subleito

A taxa de infiltração no solo deve ser determinada pelos métodos previstos na ABNT NBR 13.292 ou ABNT NBR 14.545. Já a ABNT NBR 16.416 informa valores típicos dos coeficientes de permeabilidade em função do grau de permeabilidade do solo.

Por serem solos arenosos, com predominância de macroporos, a taxa de infiltração é elevada e ocorre uma drenagem livre da água em profundidades inferiores a dois metros.

Quadro 13: Permeabilidade de solos

Permeabilidade	Tipo de solo	K (cm/s)	K (m/h)	
Solos Permeáveis	Alta	Pedregulhos	$>10^{-3}$	$>3,6$
	Alta	Areias	10^{-3} a 10^{-5}	3,6 a 0,036
	Baixa	Siltos e	10^{-5} a 10^{-7}	0,036 a 0,00036
Solos Impermeáveis	Muito	Argila	10^{-7} a 10^{-9}	0,00036 a
	Baixíssima	Argila	$<10^{-9}$	$<0,0000036$

Fonte: (ABNT, 2015)

Consideração da condição de saturação do solo

A umidade excessiva no subleito e nas camadas da estrutura do pavimento pode ser proveniente de diversas fontes, a saber: infiltração, percolação, capilaridade e movimentos em forma de vapor de água.

O problema da condição de saturação do solo se agrava quando o subleito é constituído de materiais finos argilosos e quando os acostamentos laterais são constituídos por material pouco permeável, que atua como barreira, bloqueando as saídas.

Essa condição pode ser amenizada quando as vias são assentadas sobre subleito constituído de solos arenosos, nos quais a água infiltrada pode ser drenada verticalmente pela boa permeabilidade desse tipo de solo (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

Nível do lençol freático

A investigação geotécnica realizada na área de estudo, verificou os seguintes resultados em relação ao nível do lençol freático:

Quadro 14: Resultados lençol freático

Nº	Furo Nº	Profundidade N.A.
1	BJF-03A	1,20
2	BJF-04B	1,20
3	BJF-05B	0,75
4	BJF-06B	0,75
5	BJF-06C	1,18
6	BJF-07B	$>1,20$
7	BJF-09A	1,00
8	BJF-09B	0,75
9	BJF-010A	1,15
10	BJF-025A	1,00

Fonte: Próprio Autor

Os resultados demonstram que 3 locais apresentaram registros da profundidade do nível de água do lençol freático inferior a 1,0m. De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416, esses locais deverão ser projetados como pavimentos permeáveis do tipo sem infiltração.

Figura 14: Localização dos furos de sondagem com nível freático inferior a 1,0m



Fonte: Próprio Autor

Essa recomendação é devido a fragilidade do solo devido a água, que alguns solos podem perder suas características e sofrer desestruturação, mediante presença frequente de água. Mesmo em medidas de detenção ou retenção, isso pode ocorrer, tornando o fundo da estrutura muito “barrento” (MOTA; BASTOS, 2013).

Além da fragilidade do solo devido a água, a condutividade hidráulica, ou seja, a propriedade do solo de permitir que a água percole através de seus vazios também é influenciada pela presença da água do lençol freático. A redução do volume de poros ocupado pela água, faz com que ocorra uma diminuição no coeficiente de condutividade hidráulica (RAMIRES, 2010).

4.6 Estudos topográficos

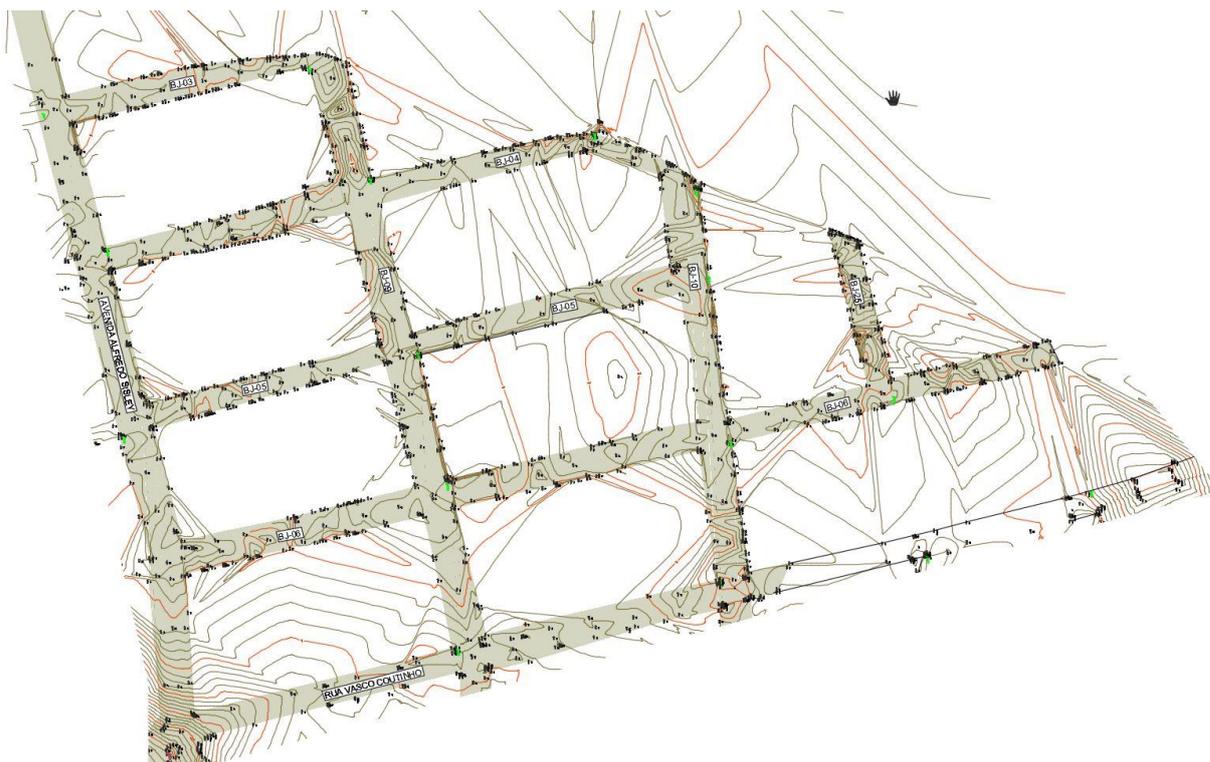
O levantamento topográfico planialtimétrico cadastral foi realizado com o objetivo de localizar cada particularidade, a definição do grau de inclinação do leito para a captação das águas

pluviais, bem como a determinação das curvas de nível do terreno natural garantindo a precisão da implantação do empreendimento (VIRGILIIS, 2009).

O levantamento foi realizado com o auxílio de equipamento estação total, com coordenadas georreferenciadas obtidas por meio de GPS de alta precisão.

A figura 15 apresenta o levantamento topográfico realizado na área a ser projetada.

Figura 15: Levantamento topográfico planialtimétrico



Fonte: Próprio autor

4.7 Estudos de tráfego

O tráfego do bairro Barra do Jucu é composto basicamente por ônibus, carros de passeio, motos e bicicletas.

O local estudado é composto por **vias locais** com tráfego leve e o número “N” de $2,7 \times 10^4$ conforme quadro 10.

4.8 Projeto geométrico e terraplenagem

A geometria transversal das vias e calçadas projetadas e os volumes de movimentação de terra foram:

Quadro 15: Resumo geometria e terraplenagem

Rua	Pista (m)	Calçada (m)	Corte (m ³)	Aterro (m ³)
Van Gogh	6,00	2,00	773,72	1,64
Toulouse-Lautrec	7,00	3,00	229,14	2,44
Paul Cézanne	7,00	3,00	710,35	14,80
Édouard Manet	6,60	3,00	1.120,26	25,72
Auguste Renoir	9,00	3,00	1.478,72	5,69
Odilon Redon	8,00	3,00	1.424,36	23,02
Rua da Sereia	7,00	3,00	120,12	2,57

Fonte: Próprio Autor

4.9 Projeto de drenagem

Verificam-se no local estudado, características típicas de planícies costeiras com baixa inclinação de terreno, rede de drenagem trabalhando afogada e influência das marés.

A área possui ainda característica de urbanização não planejada, com edificações localizadas às margens do corpo receptor, ocasionando falta de pontos de deságue para a rede de drenagem.

A figura 16, ilustra a análise de caimento, identificação do coletor principal e corpo hídrico receptor:

Figura 16: Ponto de deságue da rede de drenagem

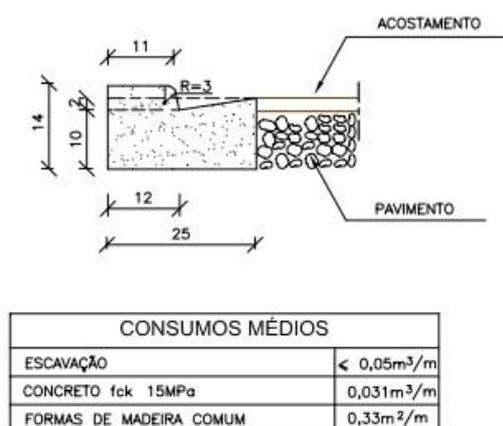


Fonte: Próprio Autor

Dimensionamento da rede de drenagem em pavimento em blocos de concreto convencionais

Quanto à rede de drenagem projetada, foi utilizado o Método Racional e definido o escoamento superficial gerado pelo pavimento em blocos de concreto convencional, de acordo com o Estudos Hidrológicos, sendo o valor de coeficiente C igual a 0,78 obtido de Araújo et al (2000). Para posicionamento dos dispositivos de drenagem, calculou-se o comprimento crítico do dispositivo de drenagem superficial adotado, que foi o meio fio sarjeta MF-01 (DNIT), conforme projeto tipo na figura 17.

Figura 17: Projeto tipo MF-01



Fonte: (DNIT, 2010)

O comprimento crítico da sarjeta com a utilização dos blocos de concreto tradicionais ($C=0,78$) para inclinação máxima de 0,50% e largura de impluvio de 6m foi de 32m.

A tabela 02 apresenta o resultado do dimensionamento da rede principal de drenagem em pavimentos em blocos intertravados de concreto convencional, fixado o período de retorno T de 10 anos e tempo de concentração t em 10 minutos.

Tabela 02: Dimensionamento da Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais

ELEM. BUEIRO			DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO					
PV	i	Comp.	Área	I	Vel.	Vazão	Diâmetro (m)	
	(%)	(m)	(km ²)	(mm/h)	(m/s)	(m ³ /s)	Adotado	Calculado
PV - 08	0,25	35,00	0,0019	109,89	0,72	0,04	0,40	0,34
PV - 09	0,35	55,00	0,0088	109,89	1,11	0,21	0,60	0,57

PV - 10	0,35	55,00	0,0088	109,89	1,11	0,21	0,60	0,57
PV - 13	0,50	62,50	0,0164	109,89	1,61	0,39	0,80	0,68
PV - 14	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,45	0,72	1,00	0,94
PV - 15	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,45	0,72	1,00	0,94
PV - 16	0,50	10,00	0,0426	109,89	1,87	1,02	1,00	0,97

Fonte: Próprio Autor

Dimensionamento da rede de drenagem em pavimento permeável em blocos de concreto poroso

Para os pavimentos em blocos de concreto poroso, foram adotados os valores de C de 0,40 (PINTO, 2011), resultando num sistema de drenagem misto (compensatória e tradicional).

O comprimento crítico da sarjeta com a utilização do pavimento em blocos de concreto poroso (C=0,40) para inclinação máxima de 0,50% e largura de impluvio de 6m foi de 53m.

A tabela 03 apresenta o resultado do dimensionamento da rede principal de drenagem em pavimento permeável em blocos porosos.

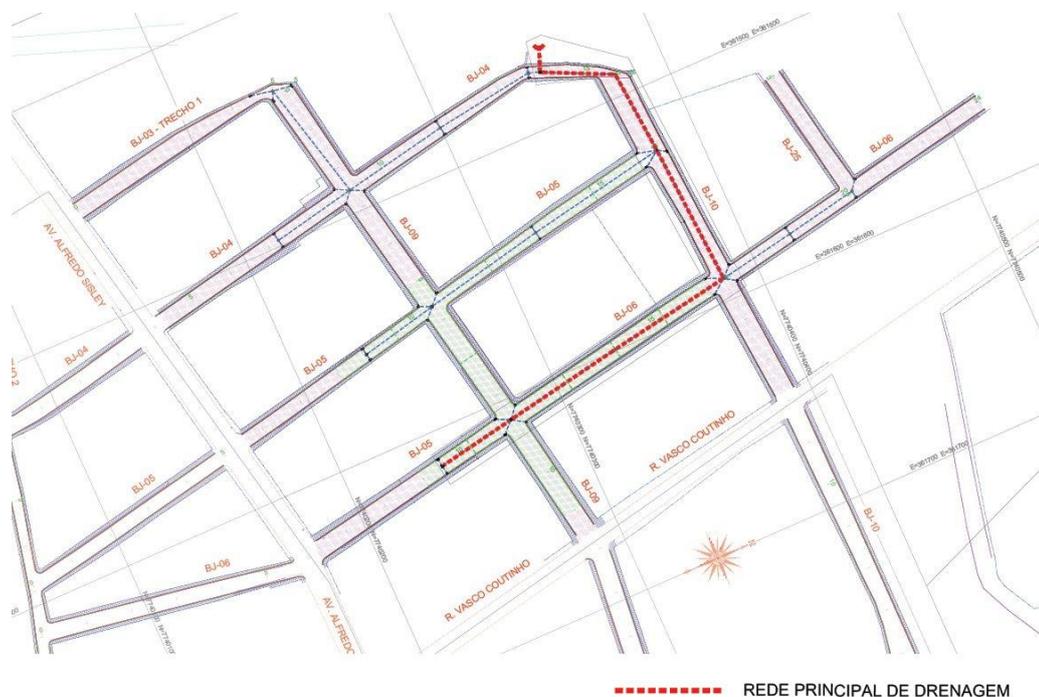
Tabela 03: Dimensionamento Hidráulico da Rede Hidráulica Principal em Blocos Porosos

ELEM. BUEIRO			DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO						
PV	i	Comp.	Área	l	Vel.	Vazão	Diâmetro (m)		
	(%)	(m)	(km ²)	(mm/h)	(m/s)	(m ³ /s)	Adotado	Calculado	Qtd.
PV - 08	0,25	35,00	0,0019	109,89	0,72	0,02	0,40	0,27	1
PV - 09	0,35	55,00	0,0088	109,89	0,85	0,11	0,40	0,45	1
PV - 10	0,35	55,00	0,0088	109,89	0,85	0,11	0,40	0,45	1
PV - 13	0,50	62,50	0,0164	109,89	1,33	0,20	0,60	0,53	1
PV - 14	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,25	0,37	0,80	0,73	1
PV - 15	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,25	0,37	0,80	0,73	1
PV - 16	0,50	10,00	0,0426	109,89	1,61	0,52	0,80	0,75	1

Fonte: Próprio Autor

A figura 18 apresenta a Rede de Drenagem Principal projetada:

Figura 18: Rede Hidráulica Principal



Fonte: Próprio Autor

4.10 Projeto de pavimentação

4.10.1 Dimensionamento mecânico do pavimento

O dimensionamento mecânico do pavimento em blocos pré-moldados foi elaborado de acordo com o “Método de Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Pré-Moldados – Método da PCA –84 (Portland Cement Association)”.

A espessura de camada de base + sub-base é definida em função do tráfego e do ISC do subleito, conforme o quadro 16 do método em questão.

Quadro 16: Dimensionamento mecânico do pavimento

Número de Solicitações equivalentes do eixo padrão de 8,2 t	Espessura Mínima de Base + Sub-base (cm)										
	Valor de ISC do Subleito (%)										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
1.000	27	21	17								
2.000	29	24	20	17							
4.000	33	27	23	19	17						
8.000	36	30	25	22	19						
10.000	37	31	26	23	20						
20.000	41	34	29	25	22	17					
40.000	44	37	32	28	24	19			ESP. MÍN 15,0 cm		
80.000	48	40	35	30	27	21	17				
100.000	49	41	36	31	28	22	18				
200.000	52	44	38	34	30	24	19				
400.000	56	47	41	36	32	26	21				
800.000	59	51	44	39	34	28	23				
1.000.000	60	52	45	40	35	29	23	16			
2.000.000	64	55	47	42	38	30	25	17			
4.000.000	68	58	50	45	40	33	27	19			
8.000.000	71	61	53	47	42	34	29	20			
10.000.000	72	62	54	48	43	35	30	21			

Fonte: (SÃO PAULO, 2005)

De acordo com o método, a espessura mínima de base e sub-base deverá ser de 17,0 cm, para um valor de “N” de $2,7 \times 10^4$ e ISC de Projeto de 5,3%.

Apresenta-se, no quadro 17, o resultado do dimensionamento mecânico do pavimento definido utilizando a metodologia citada:

Quadro 17: Resultado do dimensionamento mecânico do pavimento

Revestimento em Blocos (cm)	Camada de Assentamento (cm)	Base (cm)
8,0	4,0	17,0

Fonte: Próprio Autor

4.10.2 Dimensionamento hidrológico-hidráulico do pavimento permeável

O dimensionamento hidrológico-hidráulico do pavimento em blocos pré-moldados foi elaborado de acordo com método proposto pelo Interlocking Concrete Pavement Institute (SMITH, 2001), adaptado do Standard Specifications for Infiltration Practices (ABNT, 2015):

$$H_{m\acute{a}x} = (\Delta Qc.R + P - fTe) / Vr$$

Onde:

$H_{m\acute{a}x}$ é a profundidade da camada de base granular (m);

ΔQc é a precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (m);

R é a relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável (A_c/A_p);

A_c é a área de contribuição (m^2);

A_p é a área de pavimento permeável (m^2);

P é a precipitação de projeto (m);

f é a taxa de infiltração no solo (m/h);

Te é o tempo efetivo de enchimento da camada reservatório;

Vr é a porosidade do material de base/reservatório.

Precipitação de Projeto

A precipitação de projeto foi determinada por meio da equação de chuva, do estudo denominado “Altura-Duração-Frequência das Chuvas Intensas no Estado do Espírito Santo”, proposto por Sarmento (capítulo 4.4 – Estudos Hidrológicos), fixado o período de retorno T de 10 anos e tempo de duração ou tempo de concentração t em 60 minutos.

A precipitação de projeto foi, portanto de 51,63mm ou 0,051m.

Precipitação Excedente

Foi utilizado o método SCS, por meio das equações 1, 2, e 3 adotando-se o CN de 85, obtido na tabela 01 em estudos hidrológicos, grupo hidrológico do solo tipo B em área residenciais de baixa densidade e condição de umidade II.

$$S_D = \frac{25.400 - 254CN}{CN} = 44,82mm$$

$$I_a = 0,2 \cdot S_D = 8,96mm$$

$$P_E = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S_D} ; P > I_a = 20,81mm$$

Área de contribuição

A área de contribuição foi de 69.346,00m², conforme a figura 19.

Relação Ac/Ap

A relação área de contribuição e área permeável foi de 2,85.

Taxa de infiltração no solo

A taxa de infiltração no solo deve ser determinada pelos métodos previstos na ABNT NBR 13.292 ou ABNT NBR 14.545. Já a ABNT NBR 16.416 informa valores típicos dos coeficientes de permeabilidade em função do grau de permeabilidade do solo.

Por serem solos arenosos, com predominância de macroporos, a taxa de infiltração é elevada e ocorre uma drenagem livre da água em profundidades inferiores a dois metros. Os valores de permeabilidade foram definidos de acordo com o quadro 13.

Tempo efetivo de enchimento da camada reservatório

De acordo com Pinto (2011), este método propõe a utilização de 2 horas para esse parâmetro, entretanto, não apresenta justificativa para a adoção deste valor e nem tão pouco, comenta esse parâmetro mais profundamente. Pode-se afirmar que quanto mais rápido o enchimento da estrutura reservatório, mais rápido se dará a sua saída e que este valor depende do tipo de revestimento utilizado na estrutura e dos materiais da camada de base, e está diretamente ligado ao amortecimento da vazão afluente (PINTO, 2011).

Índice de Vazios

O índice de vazios dos materiais constituintes das camadas de base e sub-base é o elemento fundamental na determinação da espessura da camada reservatório. Os vazios existentes entre o material granular serão responsáveis pelo desempenho da estrutura projetada, pois permitirão a percolação da água e possibilitarão maior ou menor armazenamento da água de chuva.

Os materiais comumente empregados nessas camadas são a brita graduada simples, faixa B, macadame hidráulico (pedra 3) e pó de pedra, pois possuem porosidade variando entre 29% e 40% (PINTO, 2011).

Foi utilizada brita graduada simples, faixa A, com índice de vazios estimado em 29%.

Nível do lençol freático

Os resultados dos estudos geotécnicos demonstram que 3 locais apresentaram registros da profundidade do nível de água do lençol freático inferior a 1,0m. De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416, esses locais deverão ser projetados como pavimentos permeáveis do

tipo sem infiltração, ou seja, a implantação do pavimento deve ser feita com seu fundo impermeável.

Tipos de Infiltração

A seguir, apresentamos planta com a localização das áreas em pavimento permeável do tipo infiltração total e das áreas em pavimento permeável do tipo sem infiltração:

Figura 21: Localização dos tipos de infiltração do pavimento permeável



Fonte: Próprio Autor

Dimensionamento da camada reservatório

Portanto, o dimensionamento do pavimento permeável deve ser elaborado a partir do enfoque mecânico, possuindo a espessura necessária para o suporte do tráfego de projeto e enfoque hidráulico, para armazenamento e amortecimento da vazão afluyente no qual a espessura é função da precipitação, da duração da chuva, do período de retorno e da porosidade do material granular adotado para o reservatório.

Tabela 04: Dimensionamento Hidrológico-Hidráulico do Pavimento do tipo infiltração total

Duração (min)	ΔQ_c	R	P(m)	f(m/h)	te (hs)	Vr	H (m)
60	0,020	2,85	0,051	0,036	2	0,29	0,15

Fonte: Próprio Autor

Tabela 05: Dimensionamento Hidrológico-Hidráulico do Pavimento do tipo sem infiltração

Duração (min)	ΔQ_c	R	P(m)	f(m/h)	te (hs)	Vr	H (m)
60	0,020	2,85	0,051	0,0	2	0,29	0,36

Fonte: Próprio Autor

4.10.3 Especificações Básicas de Materiais

Sintetizam-se no quadro 18 as especificações básicas de materiais e serviços a serem empregadas na execução dos pavimentos.

a) Blocos Pré-Moldados de Concreto Poroso

O revestimento utilizado para áreas destinadas a vias urbanas deverá ser de blocos pré-moldados poroso ou drenante, com espessura de 8,0 cm com resistência mecânica maior ou igual a 20,0Mpa conforme quadro a seguir:

Quadro 18: Especificações básicas para revestimento em concreto

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura Mínima (mm)	Resistência Mecânica característica (Mpa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	>35,0 (compressão)	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	>20,0 (compressão)	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	>2,0 (flexão)	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
	Tráfego de pedestres	60,0	>1,0 (tração na flexão)	ABNT NBR 12142

Concreto permeável moldado no local	Tráfego leve	100,0	>2,0 (tração na flexão)	
-------------------------------------	--------------	-------	-------------------------	--

Fonte: ABNT, 2015

Na compactação inicial se deve passar a vibrocompactadora pelo menos duas vezes e em direções opostas.

Antes do assentamento dos blocos, deverá ser executada a camada de assentamento com espessura de 4,0 cm, utilizando pedrisco.

b) Base Estabilizada Granulometricamente sem mistura

A camada de base deverá ser estabilizada granulometricamente sem mistura de brita graduada simples, Faixa A.

Todos os serviços deverão seguir a especificações DNER-ES-303/97 – “Base Estabilizada Granulometricamente” além de cumprir as especificações do quadro 19 (ABNT, 2015):

Quadro 19: Especificações básicas para camada de base

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	>32%
Índice de Suporte Califórnia (CBR)	ABNT NBR 9895	>80%
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075mm	ABNT NBR NM 46	<2%

Fonte: ABNT 2015

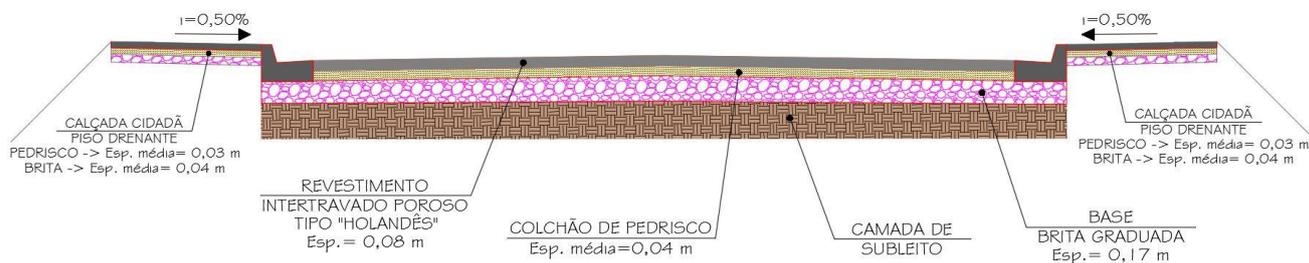
c) Regularização do Subleito

Os materiais constituintes do subleito deverão apresentar ISC igual ou superior ao adotado no dimensionamento do pavimento ($ISC \geq 5,3\%$) e, ainda, expansão $\leq 2\%$.

Todos os serviços deverão seguir a especificação DNER-ES 299/97–“Regularização do Subleito”.

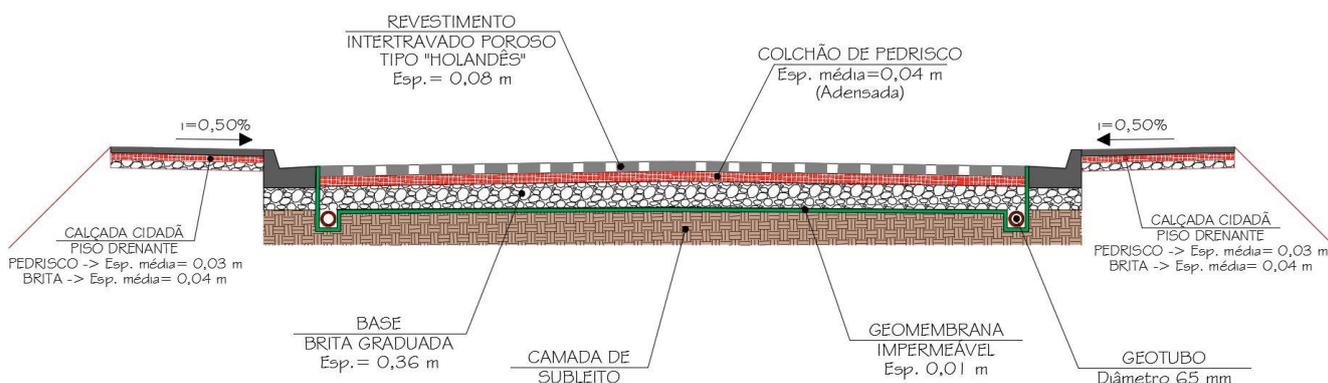
A figura 22 e 23 apresenta a seção de pavimentação das vias e calçadas projetadas:

Figura 22: Seção de Pavimentação do tipo infiltração total



Fonte: Próprio Autor

Figura 23: Seção de Pavimentação do tipo sem infiltração



Fonte: Próprio Autor

As figuras apresentadas demonstram as diferenças das seções transversais entre os dois tipos de pavimentos permeáveis. A seção do pavimento do tipo sem infiltração apresenta maior espessura de camada de base/reservatório, além da utilização de materiais como geomembrana impermeável e geotubos que não se fazem necessários na seção do pavimento do tipo infiltração total.

4.11 Projeto de urbanização

O Projeto de Urbanização contemplou calçadas e rampas de acessibilidade com base nos levantamentos topográficos e geométricos com componente drenante. As camadas projetadas para esse projeto foram:

Quadro 20: Camadas projetadas da calçada

Revestimento em placas de concreto poroso (cm)	Colchão de Areia (cm)	Base (cm)
6,0	3,0	4,0

Fonte: Autor

4.12 Análise de custos

A partir dos resultados obtidos nos estudos e projetos desenvolvidos para as vias localizadas no bairro Barra do Jucu em Vila Velha – ES, buscou-se analisar a influência que o tipo de pavimento exerce sobre os custos do empreendimento.

Dentre os diversos projetos desenvolvidos, a alteração conceitual do tipo de revestimento adotado, não gerou impactos nos projetos geométricos, terraplenagem e sinalização, ficando restritos aos projetos de pavimentação, drenagem e urbanismo (calçadas).

Os preços dos diversos serviços e materiais foram obtidos de tabelas de preços referenciais e cotações de mercado. Ainda se fez necessário a definição das distâncias de transportes dos diversos materiais envolvidos.

Não foi incluído custos de uma possível operação futura, de manutenção e de reposição, que podem incorrer de forma que o sistema possa continuar desempenhando, no futuro, o papel para o qual foi projetado.

5 RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos nos estudos e projetos desenvolvidos para as vias localizadas no bairro Barra do Jucu em Vila Velha – ES, buscou-se analisar os resultados quanto ao projeto desenvolvido em pavimento permeável em blocos de concreto poroso em comparação ao pavimento em blocos de concreto convencional. Nessa análise buscou-se comparação dos dimensionamentos da pavimentação e dos dispositivos de drenagem e custos.

5.1 Resultados do dimensionamento do pavimento

Para a comparação entre as duas propostas de projeto de pavimentação, se fez necessário o dimensionamento do pavimento convencional e do pavimento permeável do tipo de infiltração total e do tipo sem infiltração.

O quadro 21 apresenta o resultado do dimensionamento da camada de base/reservatório desses pavimentos:

Quadro 21: Resultado dimensionamento camada de base/reservatório

Dimensionamento Mecânico	Dimensionamento Hidráulico com infiltração total	Dimensionamento hidráulico sem infiltração
0,17m	0,15m	0,36m

Fonte: Próprio Autor

O dimensionamento de camada reservatório em pavimento permeável do tipo sem infiltração se fez necessário em consequência de locais apresentarem nível do lençol freático acima de 1,0m conforme indica a ABNT NBR 16.416:2015.

Sendo o pavimento uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito o terreno de fundação, denominado de subleito. Este deve ser estudado e considerado até a profundidade onde atuam, de forma significativa, as cargas impostas pelo tráfego, que em termos práticos situa-se numa faixa entre 0,60m a 1,50m (DNIT, 2006a).

Além das questões mecânicas, o nível do lençol próximo à camada inferior de base/reservatório impossibilita a infiltração das águas pluviais no solo de subleito, necessitando de incremento de sua espessura, além de tubulação de drenagem e membrana impermeável.

De acordo com norma ABNT NBR 16.416/2015, o projeto de um pavimento permeável deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico, resultando na área estudada, na espessura dimensionada mecanicamente para os locais projetados como infiltração total e espessura obtida no dimensionamento hidráulico para os locais projetados como sem infiltração.

Ao comparar os resultados obtidos pelo dimensionamento, verificamos um acréscimo de 47,22% da espessura da camada reservatório do tipo sem infiltração em relação a infiltração total.

5.2 Avaliação da influência do tipo de pavimento no dimensionamento e análise do comportamento dos dispositivos de drenagem de águas pluviais

De acordo com o item 4.9. Projeto de Drenagem, a utilização do pavimento permeável permitiu alteração no dimensionamento da rede de drenagem de águas pluviais, resultando num sistema de drenagem misto (compensatória e tradicional) com coeficiente de escoamento superficial menor devido a capacidade do pavimento proporcionar infiltração.

Nessas condições, foi possível avaliar a influência do tipo de pavimento no dimensionamento dos dispositivos de drenagem de águas pluviais conforme tabela 06.

Tabela 06: Resultados da influência do pavimento na rede de drenagem projetada

		Bloco de concreto	Bloco poroso	Diferença (%)
Poços de Visita	Unid	28,00	16,00	- 42,85
Caixas ralo	Unid	62,00	36,00	- 41,93
Bueiros ø 0,40m	m	729,00	692,00	- 5,10
Bueiros ø 0,60m	m	300,00	62,00	- 79,33
Bueiros ø 0,80m	m	96,00	79,00	- 17,70
Bueiros ø 1,00m	m	46,00	0,00	- 100,00
Total rede	m	1.171,00	833,00	-28,86

Fonte: Próprio Autor

Verificou-se no cenário estudado um decréscimo no comprimento da rede de drenagem em blocos porosos em comparação aos blocos de concreto convencionais pelo motivo da redução do escoamento superficial devido ao aumento da capacidade de infiltração do pavimento,

consequentemente proporcionando um distanciamento maior entre o início de rede e entre os dispositivos de captação das águas de chuva.

O maior distanciamento entre os dispositivos de captação das águas de chuva, como poços de visita e caixas ralo se fez devido ao aumento no comprimento crítico do meio-fio sarjeta, ocasionando ainda a diminuição dos ramais de ligação (Bueiros \varnothing 0,40m).

O tipo de pavimento ainda influenciou na diminuição do diâmetro das tubulações conforme observado nos quadros 22 e 23.

Verificou-se ainda por meio das comparações entre os projetos de drenagem da rede principal em blocos convencionais e em blocos porosos e as informações referentes ao nível do lençol freático obtidos na investigação geotécnica.

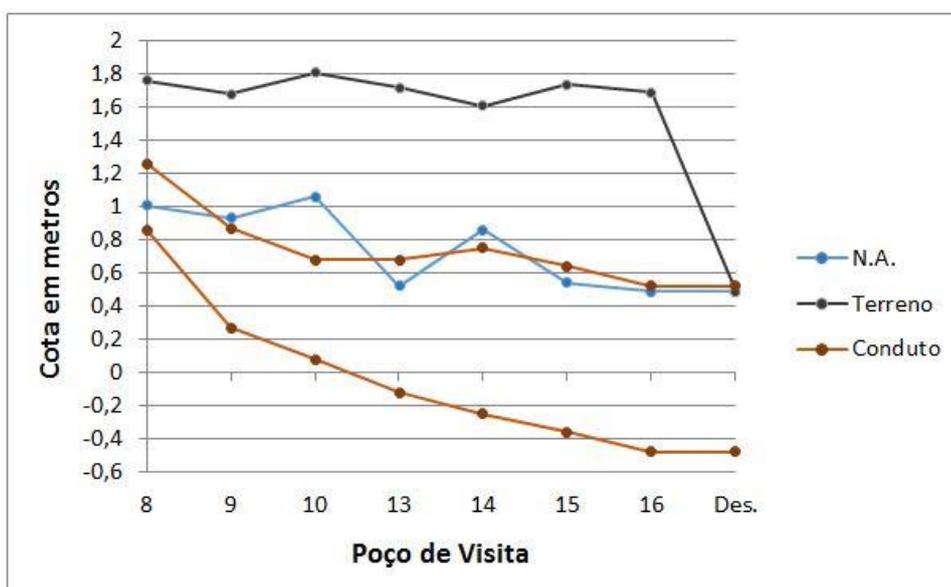
As figura 24 e 25 ilustram o comportamento da rede de drenagem de águas pluviais da rede principal.

Quadro 22: Dados Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais

PV	CT	CS	CF	NA	Diâmetro	Recobr.
8	1,76	1,26	0,86	1,01	0,4	0,50
9	1,68	0,87	0,27	0,93	0,6	0,81
10	1,81	0,68	0,08	1,06	0,6	1,13
13	1,72	0,68	-0,12	0,52	0,8	1,04
14	1,61	0,75	-0,25	0,86	1,0	0,86
15	1,74	0,64	-0,36	0,54	1,0	1,10
16	1,69	0,52	-0,48	0,49	1,0	1,17
Des.	0,49	0,52	-0,48	0,49	1,0	-0,03

Fonte: Próprio Autor

Figura 24: Gráfico Comportamento da Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais



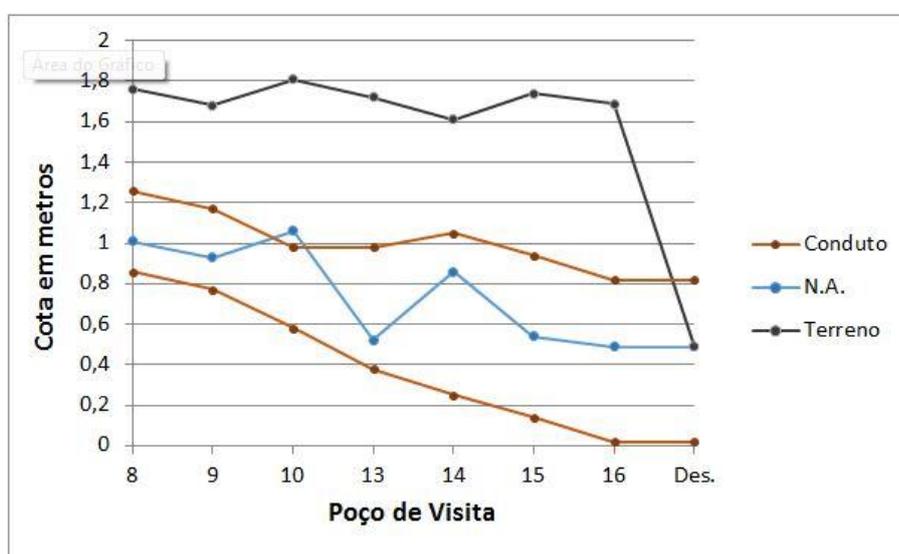
Fonte: Próprio Autor

Quadro 23: Dados Rede Hidráulica Principal em Pavimento Permeável

PV	CT	CS	CF	NA	Diâmetro	Recobr.
8	1,76	1,26	0,86	1,01	0,4	0,5
9	1,68	1,17	0,77	0,93	0,4	0,51
10	1,81	0,98	0,58	1,06	0,4	0,83
13	1,72	0,98	0,38	0,52	0,6	0,74
14	1,61	1,05	0,25	0,86	0,8	0,56
15	1,74	0,94	0,14	0,54	0,8	0,8
16	1,69	0,82	0,02	0,49	0,8	0,87
Des.	0,49	0,82	0,02	0,49	0,8	-0,33

Fonte: Próprio Autor

Figura 25: Gráfico Comportamento da Rede Hidráulica Principal em Pavimento Permeável



Fonte: Próprio Autor

Numa avaliação do comportamento das redes de drenagem projetadas, verificamos que a utilização do pavimento permeável propiciou menores diâmetros da rede de bueiros, em relação ao pavimento em blocos de concreto convencional e, conseqüentemente, uma cota de fundo no deságue de 0,50m superior e topo do conduto em melhores condições quanto ao grau de sobrecarga no deságue. A análise ainda permite verificar que, enquanto a tubulação da rede principal de vias em pavimentos em blocos convencionais funciona totalmente submersa, a tubulação com diâmetros menores da via em pavimentos permeáveis tem cotas de fundo superiores e menor grau de sobrecarga.

5.3 Análise do custo para implantação do pavimento permeável em relação ao convencional

A partir dos resultados dos estudos, buscou-se obter os custos iniciais das obras em pavimento convencional e pavimento permeável. Não foram considerados nos estudos, custos quanto a manutenção.

Pode-se observar que, em uma análise do ponto de vista econômico, a principal dificuldade consiste em quantificar, em termos monetários, alguns custos e benefícios referentes ao sistema. Por exemplo, a análise dos custos ou benefícios ambientais decorrentes da contribuição dos pavimentos permeáveis para a recarga do aquífero requer uma avaliação dos possíveis efeitos da poluição e dos benefícios do aumento do nível do lençol (ACIOLI, 2005).

A tabela 07 apresenta resumo dos custos para a implantação das obras viárias em pavimento utilizando blocos de concreto convencionais e blocos de concreto poroso.

Tabela 07: Resumo Custos (R\$/Km)

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	CONVENCIONAL	PERMEÁVEL	DIFERENÇA (%)
TERRAPLANAGEM	R\$ 95.901,68	R\$ 95.901,68	0,00%
DRENAGEM	R\$ 502.386,35	R\$ 346.946,07	-30,94%
PAVIMENTAÇÃO	R\$ 881.929,40	R\$ 1.122.717,02	27,30%
OBRAS COMPLEMENTARES	R\$ 585.697,56	R\$ 585.697,56	0,00%
SINALIZAÇÃO	R\$ 13.809,52	R\$ 13.809,52	0,00%
CANTEIRO DE OBRAS	R\$ 204.604,06	R\$ 204.604,06	0,00%
TOTAL	R\$ 2.284.328,58	R\$ 2.369.675,91	3,74%

Fonte: Próprio Autor

Comparando-se os valores da tabela 07, verifica-se um custo superior do item pavimentação em 27,30% em pavimento permeável em comparação com o pavimento revestido em blocos de concreto convencionais. A diferença se dá nos valores do bloco, no aumento da espessura da camada de base e emprego de geomembrana impermeável e geotubos.

Para os blocos de concreto poroso utiliza-se o agregado de graduação aberta, que apresenta distribuição granulométrica contínua com insuficiência de materiais finos (menor que 0,075

mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios, e conseqüentemente em maior permeabilidade ao concreto. O concreto poroso é produzido com mais cimento que o concreto denso (MONTEIRO, 2010), sendo um dos fatores para aumento do seu custo, junto com a sua baixa demanda atual.

Outro fator, foi a necessidade de projetar pavimentos permeáveis do tipo sem infiltração em locais que apresentaram nível do lençol freático acima do recomendado, que demandaram aumento da espessura da camada de base, além de geomembrana impermeável e geotubos.

Em contrapartida, a utilização do pavimento permeável revestido em blocos de concreto porosos, proporcionou um decréscimo nos custos da drenagem de 30,94%. Esse decréscimo se deu pela redução no comprimento da rede de drenagem, maior distanciamento entre os dispositivos de drenagem e redução nos diâmetros dos bueiros, proporcionando menores escavações e quantidades de materiais transportados e utilizados.

Quanto ao custo total para implantação do empreendimento, verificou-se acréscimo de 3,74% com o uso do pavimento permeável em BCP e comparação com os blocos convencionais. Esse acréscimo pode ser considerado muito baixo, além de não estar inserido os ganhos ambientais. O estudo proporcionou ainda, uma comparação entre os custos do pavimento convencional em bloco de concreto, pavimento permeável em bloco poroso com infiltração total e pavimento permeável em bloco poroso sem infiltração para a área estudada.

Para efeito de comparação, está sendo apresentado o resumo dos custos em R\$/m², conforme tabela 08.

Tabela 08: Resumo Custos (R\$/m²)

Bloco concreto	Bloco poroso infiltração total	Bloco poroso sem infiltração
120,04	131,46	202,95

Fonte: Próprio Autor

Verifica-se que o projeto em blocos de concreto convencionais foi na extensão total das vias projetadas de 1.355,00m, numa área de 9.995,00m². Já o projeto de pavimentação em pavimentos permeáveis teve locais projetados do tipo infiltração total, numa extensão de 945,00m e área de 6.845,00m² e pavimentos permeáveis do tipo sem infiltração, numa extensão de 410,00m e área de 3.110,00m².

A tabela 09 apresenta os custos detalhados quanto ao pavimento permeável (1) e pavimento convencional (2) nos 1.355,00m.

Já a tabela 10, apresenta os custos detalhados referentes a drenagem com utilização de bloco de concreto convencional (2) e bloco de concreto poroso (1) nas vias.

Tabela 09: Custos pavimentação

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID	PERMEÁVEL	CONVENCIONAL	CUSTO (R\$)		
				UNITÁRIO	TOTAL 1	TOTAL 2
PAVIMENTAÇÃO						
Regularização e compactação do sub-leito (100% P.N.) H=0,20m em Vias Urbanas	m ²	15.030,00	15.030,00	1,23	18.486,90	18.486,90
Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m ³	2.468,20	1.831,00	104,40	257.680,08	191.156,40
Pavimentação com bloco de concreto (35 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de areia esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e areia, em vias urbanas	m ²		9.955,00	95,58	-	951.498,90
Pavimentação com bloco de concreto poroso (35 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de areia esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e areia, em vias urbanas	m ²	9.955,00		107,04	1.065.583,20	
Remoção de meio fio	m	80,00	80,00	24,40	1.952,00	1.952,00
Geomembra em (PEAD) de 1,00mm, fornecimento e aplicação	m ²	3.393,00		19,50	66.163,50	
Dreno Longitudinal tipo Trincheira Drenante, H=0,40m c/tubo poroso PEAD d = 65 mm, incl. esc. mat. 1ª cat., geotêxtil não tecido RT 07kN/m, V. Urbanas	m	830,00		94,14	78.136,20	
Transporte					-	
Transporte TR-201-00 (Comercial - Caminhão basculante) - Brita graduada (Y= 0,663XP + 0,691XR + 2,765) (XP=12,60 Km XR=1,40 km)	t	2.864,00	2.747,00	11,62	33.279,68	31.920,14
TOTAL					1.521.281,56	1.195.014,34

Fonte: Próprio Autor

Tabela 10: Custos drenagem

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID	PERMEÁVEL	CONVENCIONAL	CUSTO (R\$)		
				UNITÁRIO	TOTAL 1	TOTAL 2
DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTES						
Meio fio sarjeta de concreto tipo DP-1 (0,035 m³/m) inclusive caiação	m	2.537,00	2.537,00	50,13	127.179,81	127.179,81
Caixa ralo em blocos pré-moldados e grelha articulada em FFA em Vias Urbanas	Ud.	36,00	62,00	1.394,61	50.205,96	86.465,82
Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte em Vias Urbanas	m	692,00	729,00	193,84	134.137,28	141.309,36
Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,60 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte em Vias Urbanas	m	62,00	300,00	273,25	16.941,50	81.975,00
Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,80 m CA-1 PB inclusive escavação, reaterro e transporte em Vias Urbanas	m	79,00	96,00	556,45	43.959,55	53.419,20
Corpo BSTC (greide) diâmetro 1,00 m CA-1 PB inclusive escavação, reaterro e transporte em Vias Urbanas	M	-	46,00	777,80	-	35.778,80
Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas	m	692,00	729,00	19,90	13.770,80	14.507,10
Berço em brita para BSTC diâm. = 0,60 m em Vias Urbanas	m	62,00	300,00	24,73	1.533,26	7.419,00
Berço em brita para BSTC diam. = 0,80 m em Vias Urbanas	m	79,00	96,00	36,81	2.907,99	3.533,76
Berço em brita para BSTC diam. = 1,00 m	M	-	46,00	42,85	-	1.971,10
Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas	Ud.	12,00	14,00	2.613,58	31.362,96	36.590,12
Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,60 m (1,00 x 1,00 m), em Vias Urbanas	Ud.	1,00	9,00	3.018,91	3.018,91	27.170,19
Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,80m (1,20x1,20m), em Vias Urbanas	Ud.	3,00	3,00	3.556,65	10.669,95	10.669,95
Poço de visita em bloco pré-moldado para d=1,00m (1,30x1,30m), em Vias Urbanas	Ud.		2,00	3.905,60		7.811,20
Boca de concreto ciclópico para BSTC diâmetro 0,80 m	Ud.	1,00	-	1.956,39	1.956,39	-
Boca de concreto ciclópico para BSTC diâmetro 1,00 m	Ud.	-	1,00	2.988,69	-	2.988,69

Caixa de passagem para tubos de D=0,40m H=1,10m em Vias Urbanas	Ud.	1,00		1.438,04	1.438,04	-
Caixa de passagem para tubos de D=0,60m H=1,30m em Vias Urbanas	Ud.	-	1,00	1.819,58	-	1.819,58
Esgotamento de escavações para rebaixamento do nível d'água	Mês	3,00	3,00	6.541,43	19.624,29	19.624,29
Escoramento de valas com pranchões metálicos - área cravada - (h=1,20m - 2 lados)	m ²	79,00	142,00	144,37	11.405,23	20.500,54
TOTAL PARCIAL DRENAGEM					470.111,92	680.733,51

Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A elaboração dos diversos itens de projetos possibilitou algumas conclusões e recomendações para estudos futuros conforme a seguir.

6.1 Conclusões

- 1) Em relação a comparação entre os projetos de pavimentação no estudo, pode-se observar que o dimensionamento hidráulico da espessura da camada de base/reservatório para pavimento permeável do tipo infiltração total, foi aproximadamente 12% inferior em relação ao mecânico e do dimensionamento hidráulico do pavimento permeável do tipo sem infiltração foi aproximadamente 229% superior ao critério mecânico.
- 2) Quanto a influência do tipo de pavimento no dimensionamento e comportamento da rede de drenagem da área de contribuição estudada, verificou-se que o pavimento permeável possibilita uma diminuição da rede e dispositivos, além de suas dimensões, influenciando no comportamento da rede, que passa a se situar numa profundidade menor, sofrendo menor influência do nível do lençol freático e conseqüentemente, funcionando menos afogada.
- 3) Quanto a comparação de custos entre o pavimento permeável e o pavimento convencional, verificou-se no caso estudado que o acréscimo nos custos da pavimentação, foram compensados nos custos da drenagem, podendo-se afirmar que os custos finais do empreendimento viário entre as duas soluções são similares para esse caso. Há de ressaltar que não foram avaliados os ganhos ambientais, nem custos quanto a manutenção.

No que se refere aos custos dos tipos de pavimentos permeáveis, os estudos apontam que o do tipo sem infiltração foi superior em aproximadamente 35% em comparação ao do tipo infiltração total devido à necessidade de aumento da espessura da camada reservatório e do uso de geomembranas impermeáveis e geotubos.

6.2 Recomendações

Para tornar projetos futuros mais precisos e confiáveis, fazemos as seguintes recomendações:

- Desenvolvimento de estudo sobre o comportamento do nível freático, por meio de modelo de elevação das profundidades do nível do lençol freático;
- As quantidades de furos de sondagens seguiram as diretrizes de estudos geotécnicos para projetos viários, que definem distância entre 100m a 200,00m dependendo da variação de tipos de solos com fins estruturais. Recomenda-se estudos de diretrizes geotécnicas para fins hidráulicos;
- Dimensionamento de camada separadora, composta de material granular entre a camada permeável e o subleito, com a finalidade de evitar que os dois se misturem, visando melhorar o desempenho hidráulico do pavimento drenante (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013);
- Aprofundamento no estudo quanto a valores de coeficiente de escoamento superficial para estruturas em pavimentos permeáveis;
- Realização de ensaios de permeabilidade do solo do subleito e do bloco poroso;
- Realização de ensaios que definam a porosidade dos materiais da estrutura reservatório;
- Realização de estudos da qualidade das águas;
- Desenvolvimento de estudo econômico, não apenas considerando o custo inicial dos empreendimentos, mas também custos de manutenção ao longo do tempo, além de quantificação em termos monetários dos benefícios ambientais como amortecimento de picos de cheias, recarga do lençol e outros;
- Desenvolvimento de estudos sobre a perda de funcionalidade/permeabilidade do pavimento permeável revestido em blocos de concreto porosos e técnicas de recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. 2015

ACIOLI, L. A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. p. 145, 2005.

ADEWUMI, A. A. et al. Estimation of physical, mechanical and hydrological properties of permeable concrete using computational intelligence approach. **Applied Soft Computing Journal**, v. 42, p. 342–350, 2016.

ALYASERI, I.; ZHOU, J. Stormwater Volume Reduction in Combined Sewer Using Permeable Pavement: City of St. Louis. **Journal of Environmental Engineering**, v. 142, n. 4, p. 04016002, 2016.

ANDRADE, L. M. S. DE A.; BLUMENSCHHEIN, R. N. Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão? **Água & Sociedade - Paranoá**, v. 10, p. 59–76, 2013.

ARAÚJO, C. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação Da Eficiência Dos Pavimentos Permeáveis Na Redução De Escoamento Superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21–29, 2000.

BATISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. DE O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BELO HORIZONTE, P. DE. **Manual de elaboração de projetos viários**. [s.l.: s.n.].

BEMFICA, D. DA C.; GOLDENFUM, J.; SILVEIRA, A. L. L. DA. Análise Da Aplicabilidade De Padrões De Chuva De Projeto a Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1992, p. 5–16, 2000.

BENINI, R. D. M.; MENDIONDO, E. M. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho Urban Occupation and its Hydrologic Impacts in the Upper Mineirinho Watershed. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 211–222, 2015.

BRASWELL, A. S.; WINSTON, R. J.; HUNT, W. F. Hydrologic and water quality performance of permeable pavement with internal water storage over a clay soil in Durham, North Carolina. **Journal of Environmental Management**, v. 224, n. August 2017, p. 277–287, 2018.

BURCHALES, L. G. E.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do volume de água pluvial drenado em um empreendimento habitacional: estudo de caso em Londrina - PR. **Ambiente Construído - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 7, n. 2, p. 45–57, 2007.

BUTLER, D., DAVIES, J. W. **Urban Drainage, 3rd Edition**. [s.l.: s.n.].

CAMPOS, V. B. G.; RAMOS, R. A. A. Proposta de indicadores de mobilidade urbana sustentável relacionando transporte e uso do solo. **Anais do Congresso PLURIS**, 2005.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. [s.l.] Oficina de Textos, 2005.

CASTRO, A. et al. Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 263–273, 2016.

CASTRO, A. S. Uso De Pavimentos Permeáveis E Coberturas Verdes No Controle Quali-Quantitativo Do Escoamento Superficial Urbano. **Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Instituto De Pesquisas Hidráulicas**, p. 161, 2011.

CETESB. **Drenagem Urbana**. 2ª Edição ed. São Paulo: DAAE CETESB, 1980.

CIRIA. **Infiltration drainage - Manual of Good practice Report 156**, 1996.

COLLINS, K.; HUNT, W. Evaluation of Various Types of Permeable Pavement with Respect to Water Quality. 2007.

DEVIA, G. K.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. A Review on Hydrological Models. **Aquatic Procedia**, v. 4, n. Icwrcoc, p. 1001–1007, 2015.

DNIT. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. p. 133, 2005.

DNIT. **Manual De Pavimentação**. [s.l.: s.n.].

DNIT. **Album de Projetos-tipo de dispositivos de drenagem IPR-736**, 2010.

DNIT, D. N. DE I. DE T. Manual de estudos de tráfego. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR**, p. 384, 2006b.

DO CARMO BETTINE, S. et al. Áreas Ecologicamente Estáveis Como Instrumento De Planejamento Ambiental. **Interciencia**, v. 37, n. 10, p. 769–774, 2012.

DRAKE, J.; BRADFORD, A.; VAN SETERS, T. Stormwater quality of spring-summer-fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement. **Journal of Environmental Management**, v. 139, p. 69–79, 2014.

FASSMAN, E. A.; BLACKBOURN, S. Urban Runoff Mitigation by a Permeable Pavement System over Impermeable Soils. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 15, n. 6, p. 475–485, 2010.

FINI, A. et al. Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. **Environmental Research**, v. 156, n. April, p. 443–454, 2017.

FLÁVIO, A. O. A.; COSTA, A. R. Contribuição à Legislação para o Planejamento da Drenagem Urbana. **Urbana, Drenagem Pesquisa, Congresso D E Semin, X I V**, 2006.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 19–28, 2010.

GAUDERETO, F. G.; BROCCO, V. F. **Avaliação computacional de técnicas compensatórias de drenagem urbana com princípio de infiltração aplicadas ao município de vila velha**. [s.l.] UFES, 2016.

GENZ, F. **Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

GOIAS, A.-. Especificações gerais para obras rodoviárias. 2002.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 4. ed. [s.l.: s.n.].

HEWEIDAK, M.; AMIN, S. Effects of OASIS® phenolic foam on hydraulic behaviour of permeable pavement systems. **Journal of Environmental Management**, v. 230, n. June 2018, p. 212–220, 2019.

HU, M. et al. Flood mitigation by permeable pavements in Chinese sponge city construction. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 2, p. 1–12, 2018.

JABÔR, M. A. **DRENAGEM DE RODOVIAS: Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem**. 2019.

JABUR, A. S. et al. Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 937–945, 2015.

KAMALI, M.; DELKASH, M.; TAJRISHY, M. Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 43–53, 2017.

KAZEMI, F.; HILL, K. Effect of permeable pavement basecourse aggregates on stormwater quality for irrigation reuse. **Ecological Engineering**, v. 77, p. 189–195, 2015.

KIM, Y. J.; GADDAFI, A.; YOSHITAKE, I. Permeable concrete mixed with various admixtures. **Materials and Design**, v. 100, p. 110–119, 2016.

LEE, J. Y. et al. Characteristics of the event mean concentration (EMC) from rainfall runoff on an urban highway. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 4, p. 884–888, 2011.

LIU, W.; CHEN, W.; PENG, C. Influences of setting sizes and combination of green infrastructures on community's stormwater runoff reduction. **Ecological Modelling**, v. 318, p. 236–244, 2015.

LIU, Y.; LI, T.; PENG, H. A new structure of permeable pavement for mitigating urban heat island. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1119–1125, 2018.

MARCHIONI, M. L.; SILVA, C. O.; MAYOR, A. V. Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável. **ABCP**, p. 1–8, 2015.

MARTINS, R. M. Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de Concreto. p. 49, 2014.

MATHIAS, D. T. .; CUNHA, C. M. L. .; MORUZZI, R. B. . Implicações Geomorfológicas das Alterações do Escoamento Superficial pela Urbanização: Análise dos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tucunzinho (São Pedro — SP). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2013.

MONTEIRO, A. C. N. Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho. p. 36, 2010.

MOTA, E.; BASTOS, C. Pavimento Permeável. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, p. 20, 2013.

NAGARAJAN, N.; POONGOTHAI, S. Spatial Mapping of Runoff from a watershed using SCS-CN Method with Remote Sensing and GIS. **Journal of Hydrologic Engineering**, 2012.

NASCIMENTO, N. D. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia E Inovação Na Interface Entre As Áreas De Recursos Hídricos E Saneamento. **Eng. sanit. ambient**, v. 10, n. 1, p. 36–48, 2004.

ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Transportes**, v. 25, n. 3, p. 90, 2017.

PALLA, A.; GNECCO, I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 361–368, 2015.

PENG, Z. et al. Effects of Low-Impact Development on Urban Rainfall Runoff under Different Rainfall Characteristics. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 2, p. 771–783, 2018.

PEREIRA, R. S.; MACHADO, C. C.; CARVALHO, C. A. B. Aplicações de Misturas Solo - “Grits” em estradas florestais. **Revista Arvore**, p. 619–627, 2006.

PINTO, L. L. C. A. O Desempenho De Pavimentos Permeáveis Como Medida Mitigadora Da Impermeabilização Do Solo Urbano. p. 283, 2011.

PMVV. **MACRODRENAGEM BACIA HIDROGRÁFICA DO CANAL DO CONGO PROJETO EXECUTIVO VOLUME 1 ATUALIZAÇÃO E DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO Tomo 1 - Memorial Descritivo e de Cálculo**, 2010.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15–23, 2000.

PSAT, & W. **Development Technical Guidance Manual for Puget Sound**. Washington: Sound, Puget Team Washington, State University Pierce Conty Extension, 2005.

RAHMAN, M. A. et al. Recycled construction and demolition materials in permeable pavement systems: Geotechnical and hydraulic characteristics. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 183–194, 2015.

RAMIRES, M. C. P. Estudo dos efeitos da presença do nível d’água no comportamento de dois solos lateríticos utilizados em fundações de rodovias no rio grande do sul. p. 261, 2010.

RECANATESI, F. et al. Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). **Journal of Environmental Management**, v. 201, p. 6–18, 2017.

REIS ABREU, P. R.; DE OLIVEIRA ILHA, M. S. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 79–90, 2014.

RIO DE JANEIRO, P. DA C. DO. Decreto nº35.745, de 06 de junho de 2012 - Qualificação QUALIVERDE. p. 1–16, 2012.

RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I. et al. A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 151–162, 2018.

SANSALONE, J. et al. Filtration and clogging of permeable pavement loaded by urban drainage. **Water Research**, v. 46, n. 20, p. 6763–6774, 2012.

SÃO PAULO, M. DE. Ip – 02/2004 classificação das vias 1. 2004.

SÃO PAULO, M. DE. IP-06 Instrução para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto. p. 17, 2005.

SÃO PAULO, P. M. DE. Especificação Técnica N°003/2013 - Pavimentos permeáveis com revestimento asfáltico poroso - CPA. v. 84, p. 487–492, 2013.

SARMENTO, R. Altura-duração-frequência das chuvas intensas no Estado do Espírito Santo. CT-UFES, 1985.

SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs.** [s.l.] Whashington DC, 1987.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** São Paulo: Editora PINI, 2007.

SILVA, A. S. DE. **Solos Urbanos. In.: GUERRA, A.J.T. (org.) Geomorfologia urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

SILVA, T. O. DA et al. Avaliação do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego por meio de ensaios geotécnicos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 825–833, 2011.

SMDU, S. P. **Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais.** São Paulo: [s.n.].

SMITH, D. R. Permeable interlocking concrete pavements. **Interlocking Concrete Pavement Institute**, p. 44, 2001.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9–18, 2012.

SUDERHSA. Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR. p. 150, 2002.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. I. **Drenagem subsuperficial de pavimentos conceitos e dimensionamento.** [s.l: s.n.].

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. **ABRH**, p. 15–29, 2007.

TUCCI, C. E. M.; MELLER, A. Regulação das águas pluviais urbanas. **Revista de Gestão de Água da América Latina - REGA**, 2007.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Brasília: [s.n.]. v. 53

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, L. T. Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 1995.

USEPA. Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act. Rep. No. EPA 841-B-09- 001,. **USEPA (United States Environmental Protection Agency)**, n. Rep.

No. EPA 841-B-09-001, 2009.

VIEIRA, R.; MORASTONI, R. Qualidade das calçadas na cidade de Camboriú/SC: em busca da acessibilidade e mobilidade sustentável para área turística. **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, v. 7, n. 2, p. 239–259, 2013.

VIRGILIIS, A. L. C. DE. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009.

WU, L. et al. Toxicity of urban highway runoff in Shanghai to Zebrafish (*Danio rerio*) embryos and luminous bacteria (*Vibrio qinghaiensis.Q67*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 4, p. 2663–2676, 2014.

ZHANG, S.; GUO, Y. Analytical Equation for Estimating the Stormwater Capture Efficiency of Permeable Pavement Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 4, p. 06014004, 2015.

ANEXOS

1 - Resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg

Peneira	Amostras analisadas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	7,9	6,1	6,6	3,9	2,4	6,4	22,9	4,3	5,2
40	74	47,5	92	54,9	50,2	63,8	43,7	62,2	60
10	100	97,6	100	93,2	100	100	63,3	100	100
4	100	100	100	100	100	100	75,1	100	100
3/8							86,5		
1/2							94,4		
3/4							100		
1									
LL (%)	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	47,4	N.P.	N.P.
LP (%)									
IP (%)	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	18,3	N.P.	N.P.
Classificação HRB	A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	A-2-7	A-3	A-3
Solo	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Argilosa	Areia Fina	Areia Fina

Fonte: Próprio Autor

2 - Resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg 2

Peneira	Amostras analisadas								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
200	41,3	4	33	3,7	5,4	38,5	2,6	28,9	4,9
40	55,5	62,1	58,5	47,6	47,1	71,3	42	61,5	60,6
10	71,4	90,9	83,4	89,1	98,9	90,7	82,1	88,6	94,1
4	86,8	100	90,1	100	100	94,6	100	95,2	100
3/8	95		95,5			97		98,4	
1/2	97,8		98,3			100		100	
3/4	100		100			100		100	
1									
LL (%)	49,4	N.P.	31,7	N.P.	N.P.		N.P.		N.P.
LP (%)									
IP (%)	20,5	N.P.	19,9	N.P.	N.P.		N.P.		N.P.
Classificação HRB	A-7-6	A-3	A-2-7	A-1-b	A-3	A-7-6	A-1-b	A-2-7	A-3
Solo	Argila	Areia Média	Areia Argilosa	Areia	Areia Média	Argila	Areia	Areia Argilosa	Areia Média

Fonte: Próprio Autor

3 - Resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg 3

Peneira	Amostras analisadas										
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
200	5,4	40,7	3,6	4,2	1,7	19	3,2	28,9	2,8	3,9	2,6
40	34,9	65	66,6	61,9	47,3	43	74,1	64,3	39,4	84,9	36,5
10	100	90,6	97,4	98,2	100	84,6	98,8	79,4	97,5	100	83,6
4	100	95,6	100	100	100	93,3	100	97,3	100	100	100
3/8		100				97,2		100			
1/2		100				97,6		100			
3/4		100				100		100			
1											
LL (%)	N.P.	35,5	N.P.	N.P.	N.P.	39,4	N.P.	49,3	N.P.	N.P.	N.P.
LP (%)											
IP (%)	N.P.	12,3	N.P.	N.P.	N.P.	13,9	N.P.	13,5	N.P.	N.P.	N.P.
Classificação HRB	A-1-b	A-6	A-3	A-3	A-3	A-2-6	A-3	A-2-7	A-1b	A-3	A-1b
Solo	Areia	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Argilosa	Areia Fina	Areia Argilosa	Areia	Areia Fina	Areia

Fonte: Próprio Autor

4 - Resultados dos ensaios de compactação

Parâmetros do Ensaio de Compactação			
Furo	Amostras de Solos	Umidade Ótima (%)	Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)
BJF-04B	1	12,20	1,762
BJF-05B	2	16,10	1,473
BJF-06A	3	16,00	1,784
BJF-06B	4	11,40	1,631
BJF-07A	5	12,00	1,892
BJF-07B	6	17,80	1,818
BJF-09A	7	24,50	1,497
BJF-10A	8	7,00	1,822
BJF-10B	9	21,90	1,724

Fonte: Próprio Autor

5 - Resultados dos ensaios de CBR e Expansão

Furo	Amostras de Solos	CBR (%)	Expansão (%)
BJF-04B	1	11,80	0,05
BJF-05B	2	3,50	0,08
BJF-06A	3	10,20	0,05
BJF-06B	4	4,40	0,07
BJF-07A	5	9,40	0,09
BJF-07B	6	8,90	0,07
BJF-09A	7	7,70	0,06
BJF-10A	8	15,50	0,04
BJF-10B	9	8,80	0,05

Fonte: Próprio Autor