



**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**

**VOLNEI APARECIDO VIEIRA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA PERMEABILIDADE DE  
REVESTIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO COM  
ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CAMPO**

**São Paulo**

**2014**

**VOLNEI APARECIDO VIEIRA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA PERMEABILIDADE DE  
REVESTIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO COM  
ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CAMPO**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de São Paulo, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Tecnólogo em Movimento de Terra e  
Pavimentação.

Orientador: Prof. Josué Alves Roso

**São Paulo**

**2014**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e à minha família pelo incentivo aos estudos e pelos ensinamentos da vida.

À minha esposa Solange Alcântara pelo amor, compreensão e companheirismo.

Ao meu filho João Pedro pelos momentos de alegria que me inspiraram e fortaleceram durante grande parte desta jornada.

Em especial, ao amigo e mentor, Armando Alencar da Silveira (“in memoriam”) por ter proposto desafios e principalmente pelos ensinamentos para que eu pudesse superá-los.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos Professores e amigos: Josué Alves Roso, Edson Moura e Marcus Vinicius Lisboa (“in memoriam”)

Aos amigos e colaboradores da GEObrAX Infraestrutura pelo apoio e ensinamento.

Aos amigos e companheiros da FATEC que estiveram comigo em todos os trabalhos.

## **EPÍGRAFE**

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez.”

Jean Cocteau (1889-1963)

## RESUMO

A pesquisa e os experimentos apresentados neste trabalho visam apresentar o máximo de informações sobre a permeabilidade dos pavimentos de concreto poroso. Iniciando-se pela revisão bibliográfica onde é abordado o tema da crescente urbanização das cidades onde o desenvolvimento sem planejamento acaba impermeabilizando as cidades e com isso causando impactos diretos em eventos como alagamentos e inundações. Estudos sugerem alternativas mitigatórias, dentre elas a utilização dos pavimentos permeáveis. O coeficiente de permeabilidade dos pavimentos de concreto poroso foi avaliado por meio de ensaios feitos em laboratórios, disponibilizados pelos fabricantes e comparados com ensaios feitos *in loco* ao longo de doze meses em sistemas já implantados. Os resultados demonstraram que os materiais novos ensaiados em laboratório atendem ao valor mínimo de coeficiente de permeabilidade propostos pela norma ACI 522-R06, porém os estudos feitos nos sistemas já implantados demonstraram que mesmo os ensaios feitos logo após a implantação do sistema não conseguiram valores suficientes para atingir a classificação proposta pela norma. Cabe ressaltar que o estudo demonstra que a partir da quinta amostra, ou seja, oito meses após a instalação do sistema, há uma grande queda no coeficiente de permeabilidade e a partir deste ponto, o coeficiente se estabiliza tornando-se praticamente impermeável, pois após oito horas de espera ainda não havia ocorrido a infiltração total da água do experimento (3,6 litros).

Palavras-Chave: Pavimentos Permeáveis. Infiltração no Subleito. Pavimentação. Permeabilidade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Evolução da taxa de urbanização no Brasil .....	3
Figura 2.2: Taxa de urbanização no Brasil 2010.....	3
Figura 5.1: Seção típica de pavimento intertravado .....	9
Figura 5.2: Coeficientes de permeabilidade de solos .....	10
Figura 5.3: Pavimento permeável com colmatação das juntas.....	11
Figura 5.4: Equipamento de sucção a vácuo .....	12
Figura 5.5: Seção típica de pavimento intertravado permeável .....	13
Figura 5.6: Seção típica de pavimento permeável tipo concregrama.....	13
Figura 6.1: Permeâmetro de carga variável.....	14
Figura 6.2: Ensaio de permeabilidade da capacidade drenante.....	16
Figura 7.1: Limpeza do terreno .....	17
Figura 7.2: Terraplenagem e abertura da caixa do pavimento .....	18
Figura 7.3: Melhoria e preparo do subleito .....	18
Figura 7.4: Instalação da rede de drenagem.....	19
Figura 7.5: Assentamento da manta geotêxtil .....	19
Figura 7.6: Espalhamento das camadas de brita .....	20
Figura 7.7: Compactação das camadas de brita .....	20
Figura 7.8: Instalação das guias e sarjetas.....	21
Figura 7.9: Assentamento dos blocos de concreto .....	22
Figura 7.10: Rejunte dos blocos com pedrisco .....	22
Figura 7.11: Obra concluída.....	23
Figura 7.12: Implantação do empreendimento em análise.....	24
Figura 7.13: Seção típica do pavimento permeável do empreendimento .....	25
Figura 7.14: Área molhada de pavimento drenante .....	25
Figura 7.15: Experimento utilizado para teste de infiltração .....	27
Figura 8.1: Índice de permeabilidade .....	29
Figura 8.2: Diâmetro da mancha d'água ao longo do tempo. ....	29
Figura 8.3: Tempo de absorção ao longo do tempo. ....	30

Figura 8.4: Índice de permeabilidade .....	31
Figura 8.5: Diâmetro da mancha d'água ao longo do tempo. ....	32
Figura 8.6: Tempo de absorção ao longo do tempo. ....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 8.1: Ensaio de permeabilidade

Tabela 8.2: Ensaio de permeabilidade

## **LISTAS DE SIGLAS**

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

AP - Águas Pluviais

B.G.S - Brita Graduada Simples

CEF - Caixa Econômica Federal

CPA - Camada Porosa de Atrito

D.E.R - Departamento de Estradas de Rodagem

ET - Especificação Técnica

GBCB - Green Building Council Brasil

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LEED - Liderança em Energia e Design Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVO .....	1
1.2	JUSTIFICATIVA .....	2
1.3	METODOLOGIA .....	2
<b>2</b>	<b>URBANIZAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>DRENAGEM.....</b>	<b>7</b>
4.1	MEDIDAS DE CONTROLE E IMPACTO DO CRESCIMENTO URBANO NO SISTEMA DE DRENAGEM.....	7
4.2	ESTRUTURAS DE INFILTRAÇÃO.....	8
<b>5</b>	<b>PAVIMENTAÇÃO.....</b>	<b>9</b>
5.1	PAVIMENTO INTERTRAVADO (PAVERS).....	9
5.2	PAVIMENTO PERMEÁVEL .....	10
5.2.1	<i>MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO .....</i>	<i>11</i>
5.2.2	<i>BLOCOS INTERTRAVADOS PERMEÁVEIS.....</i>	<i>12</i>
5.2.3	<i>CONCREGRAMA.....</i>	<i>13</i>
<b>6</b>	<b>PERMEABILIDADE EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....</b>	<b>14</b>
6.1	DEMONSTRAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO (FABRICANTE) .....	14
<b>7</b>	<b>ANÁLISE DE CASO .....</b>	<b>17</b>
7.1	SHOPPING CENTER .....	17
7.2	IMPLANTAÇÃO .....	24
7.3	SEÇÃO TÍPICA PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	24
7.4	EXPERIMENTO .....	25
<b>8</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O aumento da urbanização, principalmente nos grandes centros, vem aumentando consideravelmente as áreas impermeáveis, este fenômeno faz com que o escoamento das águas pluviais aumente, sobrecarregando as redes coletoras e causando alagamentos.

Apenas medidas de infraestrutura são tomadas para as soluções de drenagem, tais como rede de dreno, que simplesmente transferem a água de um ponto para outro, causando grandes concentrações e vários pontos de alagamento. Estas ações atuam sobre o efeito e não sobre as causas do aumento da vazão, que é o aumento das superfícies impermeáveis.

Para contornar este fato, medidas mitigatórias vêm sendo adotadas por várias cidades em todo o país, principalmente nas cidades onde há deficiência de rede subterrânea para captação das águas pluviais e com histórico de inundações.

Entre as medidas mais adotadas estão o uso de pavimentos com a camada de rolamento permeável onde a água infiltra diretamente para a base drenante, e também os pavimentos impermeáveis com infiltração direcionada através de pontos de captação e lançadas na base drenante para infiltração no solo.

Áreas impermeáveis são áreas de coberturas, ruas pavimentadas com pavimentos impermeáveis, como por exemplo, concreto e asfalto.

Atualmente existem basicamente dois tipos de pavimentos com camada de rolamento permeável: revestimento asfáltico drenante, também denominado de camada porosa de atrito (CPA) e os de concreto poroso, esse último com resistência suficiente para receber tráfego de veículos leves. A taxa de permeabilidade deste tipo de pavimento varia em função inversa à sua resistência, porém, já existem no mercado pavimentos permeáveis com resistência satisfatória para tráfego de veículos leves e com coeficiente de permeabilidade de  $1,61 \times 10^{-3}$  que é um grau de permeabilidade alto conforme demonstrado na figura 5.2.

## 1.1 OBJETIVO

Demonstrar a eficiência dos pavimentos permeáveis ao longo do tempo, contrapondo os resultados obtidos nos experimentos realizados com a eficiência demonstrada nos ensaios feitos em amostras fornecidas pelos fabricantes e analisadas em laboratórios.

## *1.2 JUSTIFICATIVA*

De acordo com Chocat (1997) *apud* Acioli (2005, p.1), a ampla impermeabilização do solo urbano, devido ao crescimento acelerado das cidades, tem contribuído para a geração de eventos de inundação urbana que se repetem e se agravam a cada ano, creditando-se a isso a responsabilidade por 50% do total de vítimas de catástrofes naturais no mundo, entre os anos de 1966 e 1990.

Na drenagem urbana os impactos da impermeabilização do solo ocorrem à jusante, ou seja, os problemas normalmente não ocorrem diretamente no polo gerador. É necessário então, garantir ao solo as condições originais de retenção do escoamento de águas pluviais (AP).

## *1.3 METODOLOGIA*

O trabalho desenvolveu-se por meio de pesquisas bibliográficas sobre o assunto; análises de resultados de pesquisas realizadas; verificação de resultados de ensaios de laboratórios utilizando resultados de experimentos, tanto laboratoriais, como verificação de trechos executados com pavimentos permeáveis, levantando e analisando os coeficientes de permeabilidade deste tipo de pavimento.

## 2 URBANIZAÇÃO

Embora o planejamento urbano envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito de conhecimento. O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil não tem considerado aspectos fundamentais, gerando demasiados transtornos e custos para a sociedade e para o meio ambiente. (TUCCI, 1997)

O desenvolvimento urbano no Brasil causa grande impacto no meio ambiente, aumentando a frequência das inundações e também da sedimentação e deterioração da água potável.

Na figura 2.1 é demonstrada a Evolução da taxa de urbanização do Brasil no período de 1940 a 2000.

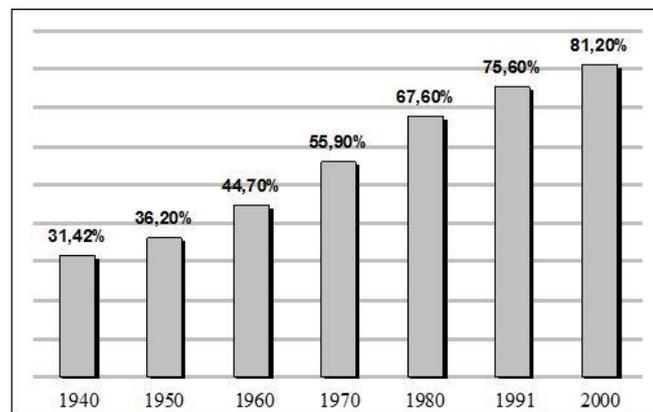


Figura 2.1: Evolução da taxa de urbanização no Brasil  
Fonte: CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF, 2007)

A concentração da população que reside em áreas urbanas é um fenômeno crescente no País. A proporção de pessoas nestas áreas passou de 45,1%, no ano de 1950, para 84,4%, no ano de 2010. Em relação ao ano 2000, quando o grau de urbanização era de 81,2%, o ritmo do crescimento da população em áreas urbanas desacelera.

Na figura 2.2 é demonstrada a taxa de urbanização em cada região do país.

	URBANA (absoluto)	RURAL (absoluto)	URBANA (percentual)	RURAL (percentual)
Brasil	160.925.792	29.830.007	84,36	15,64
Região Norte	11.664.509	4.199.945	73,53	26,47
Região Nordeste	38.821.246	14.260.704	73,13	26,87
Região Sudeste	74.696.178	5.668.232	92,95	7,05
Região Sul	23.260.896	4.125.995	84,93	15,07
Região Centro-Oeste	12.482.963	1.575.131	88,79	11,21

Figura 2.2: Taxa de urbanização no Brasil 2010  
Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2011)

Segundo Marchioni (2012):

A urbanização das cidades acarreta a impermeabilização das superfícies devido à pavimentação das ruas, ao crescente número de construções e à redução de áreas verdes. Todos esses fatores dificultam a drenagem da água através do solo e seu retorno ao lençol freático, o que provoca alterações nos leitos dos rios e dos canais, aumentando o volume das águas e a frequência das enchentes.

Segundo Marchioni e Silva (2011), o problema é agravado pelo efeito das **ilhas de calor** (aumento de temperatura em áreas densamente povoadas), intensificando a precipitação. Além dos impactos decorrentes diretamente do escoamento da água, o acúmulo de detritos diversos nas superfícies das ruas, calçadas, estacionamentos e garagens também são levados para os rios e canais durante as enxurradas.

O mesmo autor comenta ainda que cidades importantes de todo o mundo estão tentando acabar com o hábito de impermeabilizar áreas comuns, adotando medidas estruturais de controle na fonte, incentivando a manutenção de áreas verdes em praças e calçadas e a pavimentação ecológica, feita com tijolos intertravados que facilitam a penetração da água no solo.

A cidade de São Paulo aborda o tema em seu MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS.

Visando minimizar os impactos da urbanização no meio ambiente, cresce a cada ano o número de empreendimentos com certificados de sustentabilidade.

### 3 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

O Green Building Council Brasil (GBCB), criado em março de 2007, é uma organização não governamental que surgiu para auxiliar no desenvolvimento da indústria da construção sustentável no país, utilizando as forças de mercado para conduzir a adoção de práticas de Green Building em um processo integrado de concepção, construção e operação de edificações e espaços construídos.

O GBCB é um dos 21 membros do World Green Building Council, entidade supranacional que regula e incentiva a criação de Conselhos Nacionais como forma de promover mundialmente tecnologias, iniciativas e operações sustentáveis na construção civil.

O sucesso da atuação do GBCB pode ser medido pelo crescimento da certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) no Brasil. Em 2004 recebeu o selo do primeiro pedido de um empreendimento brasileiro e também da América Latina.

Hoje, o país é o quarto no ranking mundial de construções verdes com 51 prédios certificados e 525 em processo de certificação, atrás apenas dos Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos e China, conforme GBCB. O GBCB trabalha na divulgação das melhores práticas adotadas, incluindo tecnologias, materiais, processos e procedimentos operacionais, bem como promoverá o sistema de certificação LEED no Brasil.

De acordo com o GBCB o LEED é um sistema de certificação e orientação ambiental de edificações. Criado pelo U.S. Green Building Council, é o selo de maior reconhecimento internacional e o mais utilizado em todo o mundo, inclusive no Brasil.

Além dos diferentes tipos de certificação e de necessidades supridas pela mesma, ela também tem diferentes níveis de acordo com o desempenho do empreendimento. São eles, por exemplo, Silver, Gold e Platinum.

Atualmente o GBCB disponibiliza os seguintes tipos de LEED:

LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação

LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades)

LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício

LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo

LEED Healthcare – Unidades de saúde

LEED EB\_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes

LEED Schools – Escolas

LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais

De acordo com a GBCB (2014), o LEED NC emite crédito para algumas disciplinas relacionadas com os assuntos abordados neste anteprojeto:

Projeto para águas Pluviais, Controle da quantidade.

Projeto para águas pluviais, Controle da qualidade.

Redução da ilha de calor, Áreas Descobertas.

Redução da ilha de calor, Áreas Cobertas.

## 4 DRENAGEM

O fato de que, no Brasil, a expansão da urbanização cresce ano após ano, aumentando consideravelmente as áreas impermeáveis das cidades, fato que vem a cada dia tornando imprescindível o estudo e regulamentação da ocupação do solo.

Estes estudos resultam em documentos denominados PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA, que são cada vez mais presente nas principais cidades brasileiras.

### 4.1 *MEDIDAS DE CONTROLE E IMPACTO DO CRESCIMENTO URBANO NO SISTEMA DE DRENAGEM*

O crescimento urbano das cidades brasileiras tem provocado impactos significativos na população e no meio ambiente. Estes impactos vêm deteriorando a qualidade de vida da população devido ao aumento da frequência e do nível das inundações, prejudicando a qualidade da água e aumentando a presença de materiais sólidos no escoamento pluvial.

Estes problemas são desencadeados principalmente pela forma como as cidades se desenvolvem: falta de planejamento, controle do uso do solo, ocupação de áreas de risco e sistemas de drenagem inadequados.

De acordo com Tucci (2005), para alterar esta tendência é necessário adotar princípios de controle de enchentes que considerem o seguinte:

- O aumento de vazão devido à urbanização não deve ser transferido para jusante;
- Deve-se priorizar a recuperação da infiltração natural da bacia, visando a redução dos impactos ambientais;
- A bacia hidrográfica deve ser o domínio físico de avaliação dos impactos resultantes de novos empreendimentos, visto que a água não respeita limites políticos;
- O horizonte de avaliação deve contemplar futuras ocupações urbanas;
- As áreas ribeirinhas somente poderão ser ocupadas a partir de um zoneamento que contemple as condições de enchentes;
- As medidas de controle devem ser preferencialmente não estruturais.

## 4.2 ESTRUTURAS DE INFILTRAÇÃO

As caixas ou poços de infiltração são um sistema de retenção e infiltração de AP diretamente no subleito. O sistema consiste em um poço escavado no solo, revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo, e fundo revestido por uma camada de agregados graúdos também envoltos por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração, para o solo, do volume de água pluvial escoado para o seu interior. (REIS; DE OLIVEIRA, 2008)

Segundo Acioli (2005), as estruturas de infiltração podem trabalhar tanto na redução das vazões máximas, funcionando como reservatórios de amortecimento, quanto na redução dos volumes escoados, através da infiltração das águas drenadas, podendo desempenhar também um importante papel na remoção e controle de poluentes do escoamento superficial. São, portanto, estruturas que recuperam de forma mais efetiva as condições de pré-ocupação, com relação às estruturas de detenção e retenção, que têm apenas a função de amortecimento.

Os principais dispositivos de infiltração segundo Tucci e Genz (1995) *apud* Acioli (2005), são:

- Planos de Infiltração;
- Valas de infiltração;
- Bacias de percolação;
- Entradas permeáveis na rede de drenagem;
- Trincheiras ou valas permeáveis;
- Meio-fio permeável;
- Pavimentos permeáveis.

## 5 PAVIMENTAÇÃO

Segundo Senço (1997), o pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada, econômica, técnica e simultaneamente a:

- a) resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- c) resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície e rolamento.

### 5.1 PAVIMENTO INTERTRAVADO (PAVERS)

Segundo a Especificação Técnica do DER (2006a),

O pavimento é constituído por lajotas ou blocos de concreto de cimento Portland com diversos formatos, justapostos, com ou sem articulação e rejuntados ou não com material asfáltico, assentados sobre lastro de pó de pedra, ou areia lavada, executados sobre sub-base ou base; de acordo com os alinhamentos, perfis, dimensões e seção transversal estabelecida pelo projeto e confinada lateralmente por sarjetas ou guias.

Conforme Hallack (2001) *apud* Tonon (2011), a grande vantagem do pavimento intertravado é a facilidade e rapidez de colocação e manutenção, onde os pavers são encaixados sem a necessidade de argamassa e de mão de obra especializada, e podem ser retirados e recolocados sempre que precisarem fazer reparos no subsolo. Adaptam-se às ruas íngremes ou curvas, é um sistema construtivo e não somente um piso. Além disso, os pavers (peças maciças de concreto) podem ser enquadrados como aliados do meio ambiente, se considerarmos que são totalmente recicláveis ao fim de sua vida útil, exigem menor espessura da estrutura (base e sub-base), conferindo, portanto, menor agressão ao solo e finalmente, a produção do concreto é menos poluente que a fabricação do asfalto.

Na figura 5.1 demonstrada uma seção típica de pavimento intertravado e suas camadas construtivas.

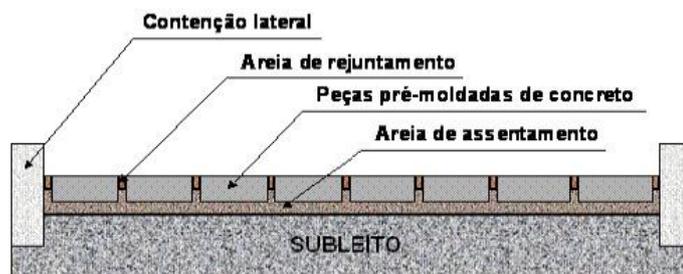


Figura 5.1: Seção típica de pavimento intertravado  
Fonte: PAVERTECH (2014)

## 5.2 PAVIMENTO PERMEÁVEL

O pavimento permeável é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático, Urbonas e Stahre (1993) *apud* Acioli (2005, p.1).

Segundo Silveira (2003), pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração são dispositivos de controle dos excessos pluviais por infiltração no solo. Deste modo, o princípio que norteia seus pré-dimensionamentos é de infiltrar no solo todo o excesso pluvial a elas destinado, com determinado risco de ocorrência da chuva; em outras palavras, no contexto de uma área maior, as áreas controladas pelos dispositivos terão escoamento superficial tecnicamente nulo, para o período de retorno de projeto. Em resumo, na análise do escoamento gerado por um empreendimento onde há áreas controladas e áreas não controladas, é preciso verificar se o conjunto do empreendimento gera, no máximo, a vazão de restrição local. Pode haver áreas não controladas que gerem mais do que a vazão de restrição, mas isto deve ser contrabalançado pelas áreas controladas pelos dispositivos.

A utilização do pavimento permeável depende não somente do pavimento em si (revestimento) como também das camadas de base e sub-base e principalmente do subleito.

Os valores de referência da estrutura do pavimento permeável se baseiam nos estudos de permeabilidade natural dos solos.

Na figura 5.2 encontram-se os valores de referência para coeficientes de permeabilidade da estrutura dos pavimentos, que se baseia nos estudos da permeabilidade natural dos solos de acordo com Terzagui e Peck (1967).

Tipo de solo	Coefficiente de permeabilidade $k$ (m/s)	Grau de permeabilidade
Brita	$> 10^{-3}$	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Alta
Areia, areia suja e silte arenoso	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Baixa
Silte, silte argiloso	$10^{-7}$ a $10^{-9}$	Muito baixa
Argila	$< 10^{-9}$	Praticamente Impermeável

Figura 5.2: Coeficientes de permeabilidade de solos  
Fonte: TERZAGUI e PECK (1967)

### 5.2.1 MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

Os pavimentos permeáveis requerem manutenção similar à dos pavimentos convencionais, sendo necessária a conservação das estruturas de coleta de ligação de água com a estrutura reservatório. Estas devem permanecer limpas, livres de sedimentos, folhas, borracha de pneus e demais resíduos que possam vir a acumular. Desaconselha-se o uso de vassouras para a limpeza da superfície do pavimento, pois empurrariam os finos para dentro dos poros do revestimento, de acordo com Azzout *apud* Acioli (2005).

A rotina de manutenção dos pavimentos permeáveis deve ser cumprida para que se possa garantir a capacidade de infiltração do revestimento ao longo de sua vida útil.

EPA (1999) sugere rotina de manutenção preventiva incluindo-se sucção a vácuo dos poros, pelo menos quatro vezes ao longo de cada ano, com descarte apropriado do material removido, seguido de injeção de água com pressão, mantendo os poros abertos e limpos.

A manutenção é imprescindível para evitar que o acúmulo de sujeira provoque a colmatação das juntas conforme demonstra-se na figura 5.3.



Figura 5.3: Pavimento permeável com colmatação das juntas  
Fonte: ABCP (2011)

Na figura 5.4 a limpeza de pavimento utilizando-se equipamento de sucção a vácuo.



Figura 5.4: Equipamento de sucção a vácuo  
Fonte: ACI (2006)

Segundo Marchioni (2012), os pavimentos permeáveis são elegíveis para créditos em certificações de construção sustentável.

#### PONTUAÇÃO LEED PARA PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

- a) Redução da ilha de calor
- b) Produção próxima ao local de uso
- c) Redução no escoamento superficial de água
- d) Redução na poluição de fontes não pontuais
- e) Redução nas áreas impermeáveis
- f) Coleta de água de reuso

#### 5.2.2 BLOCOS INTERTRAVADOS PERMEÁVEIS

Os pavimentos permeáveis, segundo Marchioni (2012) têm custo praticamente igual ao convencional. Esse tipo de pavimento pode ser utilizado como via para pedestres, pátios residenciais, comerciais e industriais, estacionamentos, calçadas e vias de tráfego leve, reduzindo o escoamento superficial em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e como resultado a chegada da água ao subleito será retardada, diminuindo a erosão.

A camada de base granular do piso ainda funciona como um filtro para a água da chuva, reduzindo a sua contaminação. Os pavimentos permeáveis são definidos como aqueles

que possuem espaços livres na sua estrutura por onde a água e o ar podem atravessar. A camada de revestimento dos pavimentos permeáveis nos sistemas à base de cimento pode ser executada utilizando-se concreto poroso moldado in loco ou peças pré-moldadas de concreto.

O detalhamento de todas as camadas do pavimento permeável está demonstrado na figura 5.5.

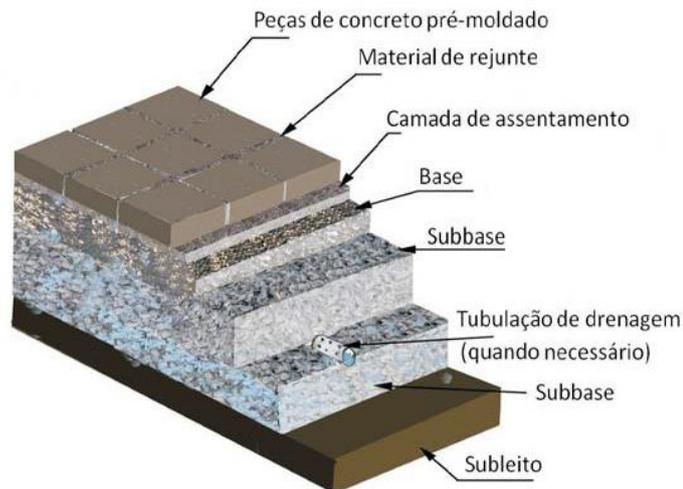


Figura 5.5: Seção típica de pavimento intertravado permeável

Fonte: ABCP (2011)

### 5.2.3 CONCREGRAMA

Bloco de concreto vazado, com espaçamentos preenchidos com grama para aumentar a capacidade de infiltração das águas pluviais no subleito ou rede de captação.

É muito utilizado em calçadas, pátios industriais e acessos.

Possui vantagens como permitir absorção quase total das águas das chuvas, dispensa contra piso e rejunte e ainda realça a beleza do projeto (RIOS, 2008).

Na figura 5.6 é demonstrado um bloco de piso do tipo concregrama.



Figura 5.6: Seção típica de pavimento permeável tipo concregrama

Fonte: RHINO PISOS (2014)

## 6 PERMEABILIDADE EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.

O coeficiente de permeabilidade mede a velocidade de percolação da água no meio poroso e tem relação com a tendência da água infiltrar no subleito ou escoar superficialmente.

Em um pavimento permeável este coeficiente deve ser classificado com grau de permeabilidade alta garantindo que a água pluvial infiltre rapidamente na superfície.

Para medir o coeficiente de permeabilidade utiliza-se o método descrito pela *American Concrete Institute* – ACI 522 R-06.

### 6.1 DEMONSTRAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO (FABRICANTE)

O procedimento consiste em adicionar água no tubo de entrada saturando a amostra de concreto poroso até que o nível de água se iguale entre o topo da amostra e o topo do tubo de dreno. A válvula é então fechada e o tubo de entrada graduado é preenchido com uma coluna d'água de 290 mm ( $h_i$ ). Na sequência a válvula é aberta e registra-se o intervalo de tempo que a coluna d'água leva para baixa de 290 mm ( $h_i$ ) até 70 mm ( $h_f$ ) conforme demonstrada na figura 6.1.

O procedimento é repetido três vezes para cada corpo de prova e considera-se o tempo médio entre eles.



Figura 6.1: Permeômetro de carga variável  
Fonte: RHINO PISOS (2013)

O coeficiente de permeabilidade para carga variável é determinado pela Lei de Darcy:

$$K = \frac{A_1 L}{A_2 t} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Onde:

K - coeficiente de permeabilidade

A<sub>1</sub> - área da seção da amostra

A<sub>2</sub> - área do tubo

L - comprimento da amostra

t - tempo médio

Na Figura 6.2 apresenta-se um resultado de ensaio de permeabilidade elaborado pela ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO da ABCP utilizando-se um pavimento intertravado drenante instalado apenas para elaboração de ensaio.

Corpo de prova	Diâmetro (mm)	Área- (A <sub>2</sub> ) (m <sup>2</sup> )	Altura - (L) (mm)	Intervalo de tempo - (t) (s)	Coeficiente de permeabilidade - (K) (m/s)	Coeficiente de permeabilidade e médio - (K <sub>m</sub> ) (m/s)
1	100,0	0,00785	62,0	15,40	1,59.10 <sup>-3</sup>	1,61.10 <sup>-3</sup>
				15,05	1,63.10 <sup>-3</sup>	
				15,26	1,62.10 <sup>-3</sup>	
2	100,0	0,00785	64,5	19,07	1,29.10 <sup>-3</sup>	1,32.10 <sup>-3</sup>
				18,37	1,33.10 <sup>-3</sup>	
				18,17	1,35.10 <sup>-3</sup>	
3	100,0	0,00785	61,0	16,34	1,50.10 <sup>-3</sup>	1,52.10 <sup>-3</sup>
				16,08	1,52.10 <sup>-3</sup>	
				15,84	1,55.10 <sup>-3</sup>	
Coeficiente de permeabilidade médio (K <sub>m</sub> )					m/s	1,49.10 <sup>-3</sup>
					mm/h	5.304
Grau de Permeabilidade						
Classificação em Função do Coeficiente de Permeabilidade						
Coeficiente de permeabilidade k (m/s)				Grau de permeabilidade		
>10 <sup>-3</sup>				Alta		
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>				Média		
10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-7</sup>				Baixa		
10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-9</sup>				Muito Baixa		
< 10 <sup>-9</sup>				Praticamente Impermeável		

Figura 6.2: Ensaio de permeabilidade da capacidade drenante  
Fonte: RHINO PISOS (2013)

De acordo com Marchioni e Silva (2011), a norma ACI 522R-06 estabelece como valor mínimo para o concreto poroso coeficiente de permeabilidade (k) de  $1,40 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Desta forma, a amostra analisada pelo fabricante atende a norma, pois resultou em um coeficiente (k) de  $1,49 \cdot 10^{-3}$  m/s.

## 7 ANÁLISE DE CASO

### 7.1 SHOPPING CENTER

Implantação de um Shopping onde serão utilizados pavimentos com blocos intertravados permeáveis.

A captação de AP dos pavimentos impermeáveis se dará por bocas de lobo, nas áreas com pavimentos permeáveis as águas pluviais serão coletadas por drenos sub-superficiais e encaminhadas juntamente com as demais redes de AP para lançamento na rede coletora municipal.

Etapas de execução:

A primeira etapa a ser executada é a limpeza do terreno, também chamada de remoção superficial.

Segundo a especificação técnica IP-DE-Q00-001\_A do D.E.R limpeza superficial são todas as operações de desmatamento, destocamento, retirada de solos orgânicos, entulhos e outros materiais inservíveis impeditivos a implantação do empreendimento, conforme demonstrada na figura 7.1. (DER, 2005a)



Figura 7.1: Limpeza do terreno  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

Abertura e preparo de caixa consiste em escavar, carregar e transportar para local de bota-fora autorizado, todo o material que, mediante ensaios específicos, não apresente características granulométricas e de compactação exigidas para servir de base para o pavimento.

Na figura 7.2 demonstra-se a execução da terraplenagem e abertura de caixa dos pavimentos.



Figura 7.2: Terraplenagem e abertura da caixa do pavimento  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

Segundo a Especificação Técnica do D.E.R ET-DE-P00-001\_A Melhoria e preparo do subleito é o conjunto de operações que visa conformar a camada final da terraplenagem mediante cortes e aterros de até 20 cm de espessura, conferindo-lhe condições adequadas de geometria e compactação, para recebimento de um estrutura de pavimento. (DER, 2005b)

Na figura 7.3 mostra-se a compactação do subleito utilizando-se rolo liso que é indicado para compactação de materiais arenosos e pedregulhosos.



Figura 7.3: Melhoria e preparo do subleito  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

As escavações para instalação das redes de drenagem pluvial deverão atender as normas da NBR 12266. Na figura 7.4 demonstra-se a instalação dos tubos de concreto após a abertura da vala. (ABNT, 1992)



Figura 7.4: Instalação da rede de drenagem  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

De acordo com a ET-DE-H00/013 do D.E.R, a aplicação das mantas geotêxtis em dispositivos de drenagem deverão atender as recomendações dos fabricantes quanto aos cuidados necessários na aplicação do material.

Durante o desenvolvimento das obras deve ser evitado o tráfego desnecessário de pessoal ou equipamentos sobre a manta geotêxtil aplicada para evitar sua danificação, conforme demonstra-se na figura 7.5. (DER, 2006c)



Figura 7.5: Assentamento da manta geotêxtil  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

O espalhamento e compactação das camadas de Brita Graduada Simples (BGS) deverão atender às especificações da ET-DE-P00-008\_A do D.E.R. O projeto deverá especificar a faixa granulométrica a ser utilizada, as figuras 7.6 e 7.7 ilustram o espalhamento e compactação das camadas de BGS. (DER, 2005c)



Figura 7.6: Espalhamento das camadas de brita  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)



Figura 7.7: Compactação das camadas de brita  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

De acordo com a ET-DE-H00-018\_A do D.E.R, guias, também chamadas de meio-fio, são elementos pré-moldados de concreto, destinadas a separar a faixa de pavimentação da faixa de passeio. (DER, 2006b)

Conforme demonstrado na figura 7.8, as sarjetas e sarjetões são canais triangulares longitudinais destinados a coletar e conduzir as águas superficiais da faixa pavimentada e da faixa de passeio ao dispositivo de drenagem, boca de lobo, galerias etc.



Figura 7.8: Instalação das guias e sarjetas  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

A ET-DE-P00-048\_A do D.E.R especifica que o pavimento constituído por lajotas ou blocos de concreto de cimento Portland com diversos formatos. Eles são justapostos, com ou sem articulação e rejuntados ou não com material asfáltico, assentados sobre lastro de pó de pedra ou areia lavada, executados sobre sub-base ou base; de acordo com os alinhamentos, perfis, dimensões e seção transversal estabelecida pelo projeto e confinada lateralmente por sarjetas ou guias. (DER, 2006a)

Esta mesma Especificação Técnica define os procedimentos para o assentamento e rejunte das peças sobre a base do pavimento ilustrada nas figuras 7.9 e 7.10.



Figura 7.9: Assentamento dos blocos de concreto  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)



Figura 7.10: Rejunte dos blocos com pedrisco  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

A figura 7.11 ilustra a área pavimentada ao final de todas as etapas construtivas com o empreendimento já implantado e em funcionamento.



Figura 7.11: Obra concluída  
Fonte: SOLUÇÕES PARA CIDADES (2013)

## 7.2 IMPLANTAÇÃO

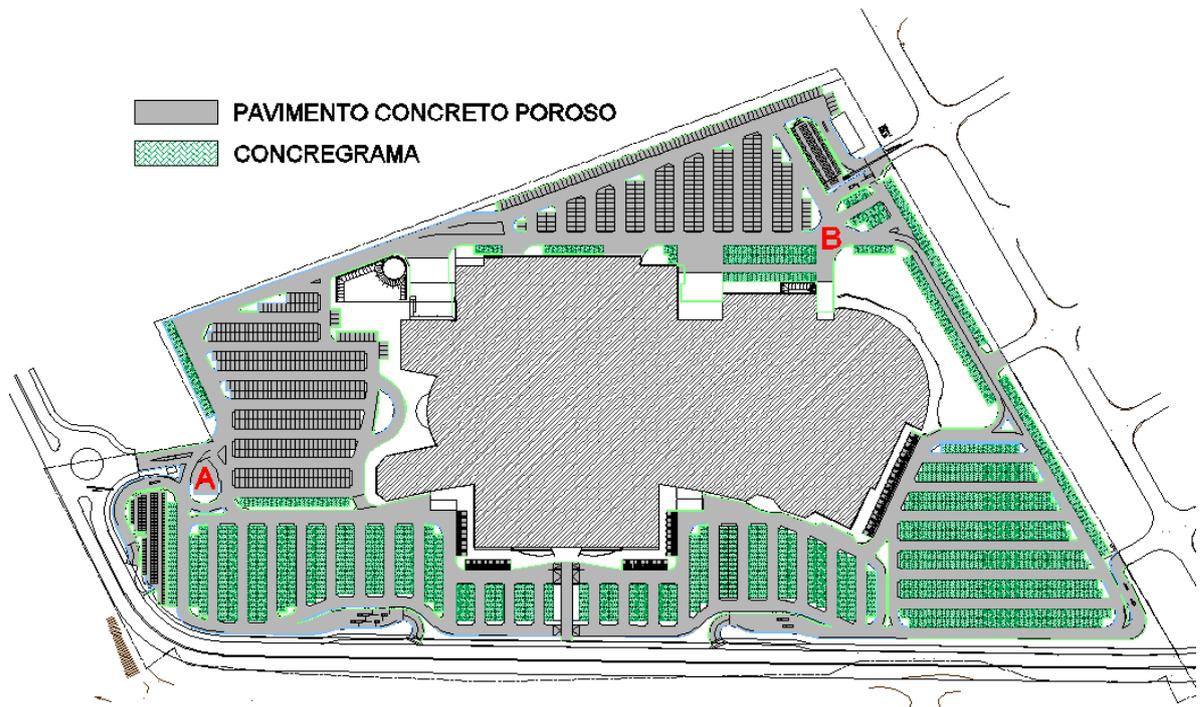


Figura 7.12: Implantação do empreendimento em análise

Fonte: PROJETO DO EMPREENDIMENTO (2012)

## 7.3 SEÇÃO TÍPICA PAVIMENTO PERMEÁVEL

Na Figura 7.13 demonstra-se a seção típica do pavimento intertravado permeável utilizado no empreendimento analisado.

A seção típica do pavimento foi composta por:

- a) Revestimento - Pavimento intertravado permeável
- b) Base de assentamento - Areia
- c) Sub-base - Colchão drenante (Brita nº2)

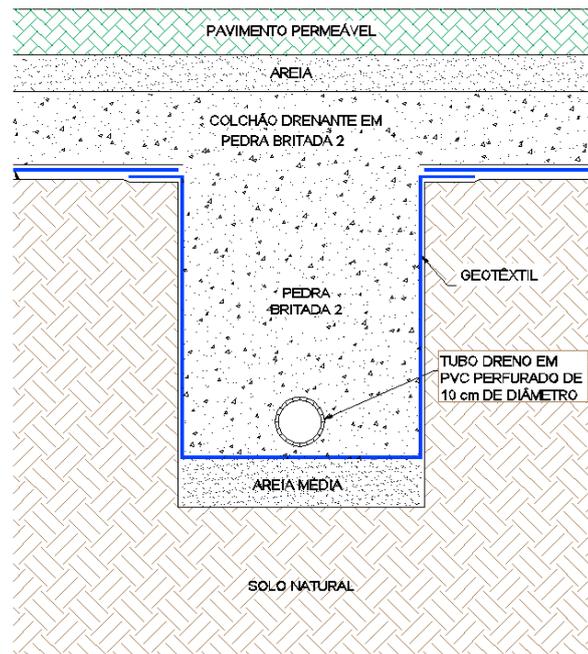


Figura 7.13: Seção típica do pavimento permeável do empreendimento  
 Fonte: PROJETO DO EMPREENDIMENTO (2012)

Nas áreas com implantação do pavimento permeável, a captação será feita por infiltração e direcionada à rede subterrânea das áreas descritas no item 7.1.

#### 7.4 EXPERIMENTO

Durante um ano, a cada dois meses foram feitas três medições, entre os parâmetros experimentados estão: a área molhada e o tempo de absorção do piso; essas medidas foram realizadas com volume determinado de água, medindo a área molhada (diâmetro em cm) e o tempo de absorção da água (segundo), exemplo de área molhada desse tipo de pavimento na figura 7.14.



Figura 7.14: Área molhada de pavimento drenante  
 Fonte: MARCHIONI E SILVA (2011)

Para caracterizar o coeficiente de permeabilidade do concreto poroso das peças Marchioni e Silva (2011) sugerem o procedimento proposto pela ACI (ACI - 522R-06).

Foram escolhidos dois pontos para aferição das medidas:

- a) Ponto próximo à área de manobra de veículos
- b) Ponto próximo à circulação de veículos

Utilizando-se um cilindro com diâmetro de 400 mm (figura 7.15) foi lançado um volume de 3,6 litros de água sobre a superfície do pavimento onde serão mensuradas:

- a) Área molhada de superfície:

Inicialmente o pavimento é molhado lançando-se 3,6 litros de água no cilindro e aguarda-se a infiltração, isto é feito para que o solo seja saturado.

Os resultados atuais foram comparados com os resultados obtidos ao longo do tempo, partindo da instalação do sistema para que seja possível demonstrar a eficiência do pavimento em gráfico (área molhada x tempo).

- b) Tempo de absorção do volume lançado:

Foi medido o tempo necessário para esgotar o volume lançado, os resultados também serão demonstrados por intermédio de gráfico.

O procedimento foi repetido três vezes para cada corpo de prova e considera-se o tempo médio, o coeficiente de infiltração para carga constante é determinado de acordo com a Lei de Darcy:

$$I = \frac{4 * M}{D^2 * t}$$

Onde:

I - Coeficiente de infiltração

M - Massa de água infiltrada

D - Diâmetro do tubo

t - Intervalo de tempo entre a adição da água e sua infiltração total

K - Constante = 4.583.666.000

Na figura 7.15 demonstra-se o cilindro de  $\text{Ø}400$  mm utilizado para a realização do experimento.



Figura 7.15: Cilindro utilizado para teste de infiltração  
Fonte: MARTINS (2014)

## 8 RESULTADOS

A seguir, são resumidos os resultados obtidos com os ensaios, de modo a permitir uma análise global do estudo realizado.

Resultado dos ensaios do coeficiente de permeabilidade:

Na tabela 8.1 demonstram-se os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade, demonstrando os meses das amostras, o tempo de infiltração e tendo como resultante o coeficiente de permeabilidade.

PONTO A - LOCALIZADO PRÓXIMO A ÁREA DE MANOBRAS							
Data da leitura	Constante (k)	Volume (M)	Diâmetro Cilindro (mm)	Tempo (s)	Índice de Permeabilidade (mm/h)	Índice de Permeabilidade (m/s)	Observação
Janeiro	4,58E+09	3,6	400	28	3,68E+03	1,02E-03	(1)
Março	4,58E+09	3,6	400	37	2,79E+03	7,74E-04	(1)
Maio	4,58E+09	3,6	400	98	1,05E+03	2,92E-04	(1)
Julho	4,58E+09	3,6	400	256	4,03E+02	1,12E-04	(1)
Setembro	4,58E+09	3,6	400	3850	2,68E+01	7,44E-06	(1)
Novembro	4,58E+09	3,6	400	14400	7,16E+00	1,99E-06	(1) e (2)
Janeiro	4,58E+09	3,6	400	28800	3,58E+00	9,95E-07	(1) e (3)
(1) Os valores são resultado de uma média de três ensaios realizados em ponto de manobra							
(2) Após 4 horas ainda havia pequena quantidade de água desprezada							
(3) Após 8 horas não havia infiltração total							
Obs. Os valores são resultado de uma média de três ensaios realizados em ponto de manobra							

Tabela 8.1: Ensaios de permeabilidade

Fonte: Autor

Na figura 8.1 apresenta-se o gráfico que representa a redução do coeficiente de permeabilidade ao longo do tempo, tornando-se praticamente impermeável a partir do quinto ensaio, elaborado em setembro.

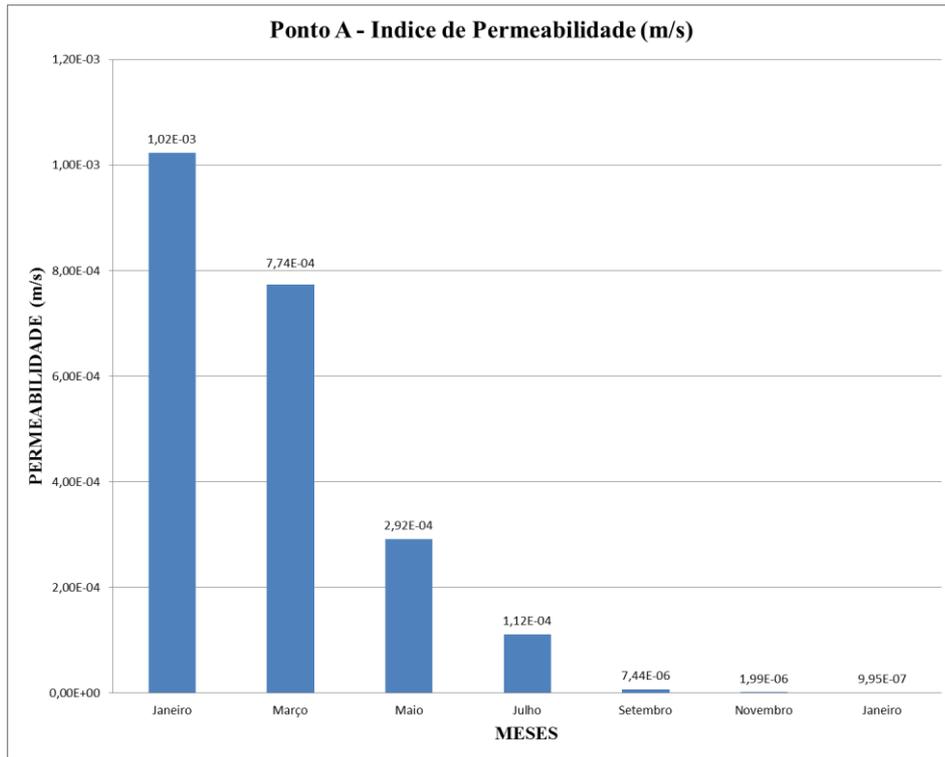


Figura 8.1: Índice de permeabilidade  
 Fonte: Autor

Na figura 8.2 apresenta-se o gráfico que representa o aumento da mancha d'água em milímetro, para se obter o diâmetro da mancha d'água foram feitas duas amostras para cada ensaio.

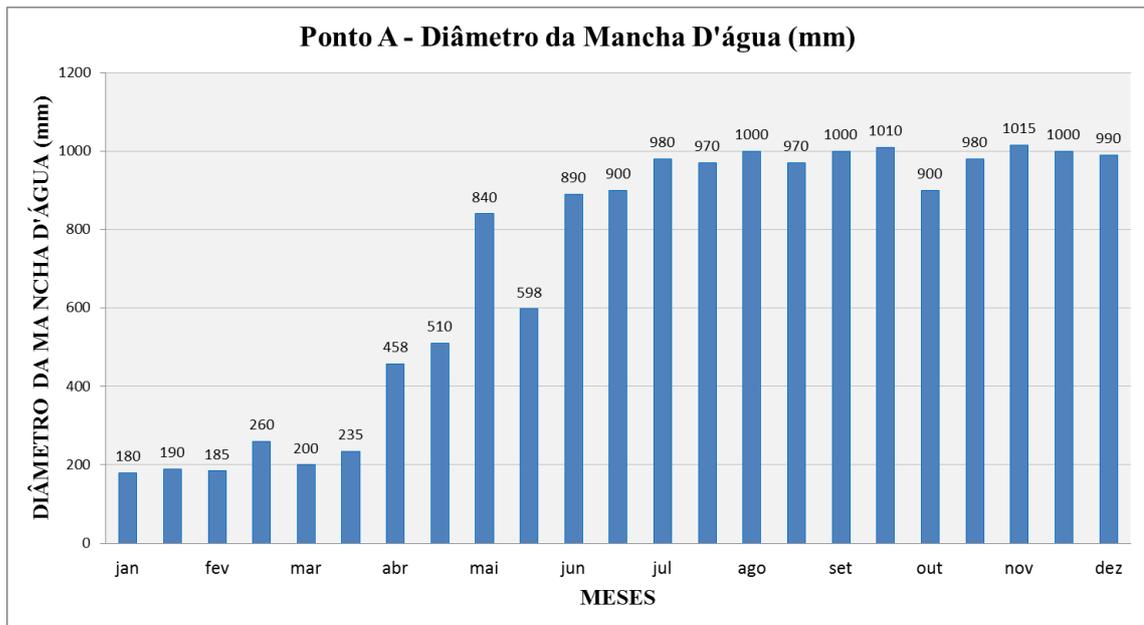


Figura 8.2: Diâmetro da mancha d'água ao longo do tempo.  
 Fonte: Autor

Na figura 8.3 apresenta-se o gráfico que representa o aumento do tempo que o pavimento levou para absorver todo o volume d'água lançado para mensurar a mancha d'água, a cada amostra foram lançados três litros de água.

Observa-se que após a quinta amostra elaborada em setembro após 140 segundos havia escoamento da água e não havia infiltração considerável.

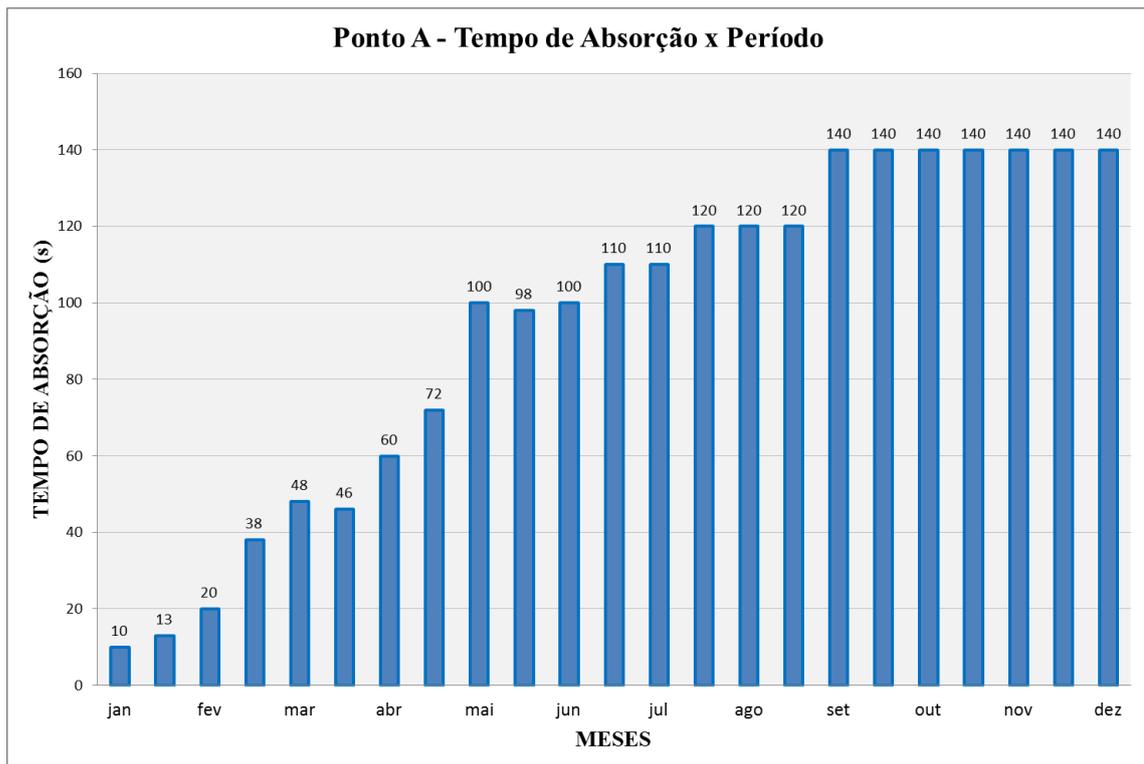


Figura 8.3: Tempo de absorção ao longo do tempo.

Fonte: Autor

A seguir, serão apresentados na tabela 8.2 os mesmos estudos que foram realizados em outro ponto do empreendimento, este ponto encontra-se em área de circulação de veículos, neste ponto mesmo o primeiro ensaio obteve um índice de permeabilidade considerado baixo.

Devido à intensa circulação de veículos este ponto apresenta maior concentração de detritos de borracha oriundas dos pneus dos veículos.

PONTO B - LOCALIZADO PRÓXIMO A ÁREA DE CIRCULAÇÃO DE VEÍCULOS							
Data leitura	Constante (k)	Volume (M)	Diametro Cilindro (mm)	Tempo (s)	Índice de Permeabilidade (mm/h)	Índice de Permeabilidade (m/s)	Observação
Janeiro	4,58E+09	3,6	400	35	2,95E+03	8,19E-04	(1)
Março	4,58E+09	3,6	400	45	2,29E+03	6,37E-04	(1)
Maio	4,58E+09	3,6	400	180	5,73E+02	1,59E-04	(1)
Julho	4,58E+09	3,6	400	375	2,75E+02	7,64E-05	(1)
Setembro	4,58E+09	3,6	400	4080	2,53E+01	7,02E-06	(1)
Novembro	4,58E+09	3,6	400	18000	5,73E+00	1,59E-06	(1) e (2)
Janeiro	4,58E+09	3,6	400	28800	3,58E+00	9,95E-07	(1) e (3)

(1) Os valores são resultado de uma média de três ensaios realizados em ponto de manobra  
(2) Após 5 horas ainda havia pequena quantidade de água desprezada  
(3) Após 8 horas não havia infiltração total

Obs. Os valores são resultado de uma média de três ensaios realizados em ponto de circulação

Tabela 8.2: Ensaios de permeabilidade  
Fonte: Autor

Na figura 8.4 apresenta-se o gráfico que representa a redução do coeficiente de permeabilidade ao longo do tempo, tornando-se praticamente impermeável a partir do quinto ensaio da mesma forma que aconteceu no Ponto A, elaborado em setembro.

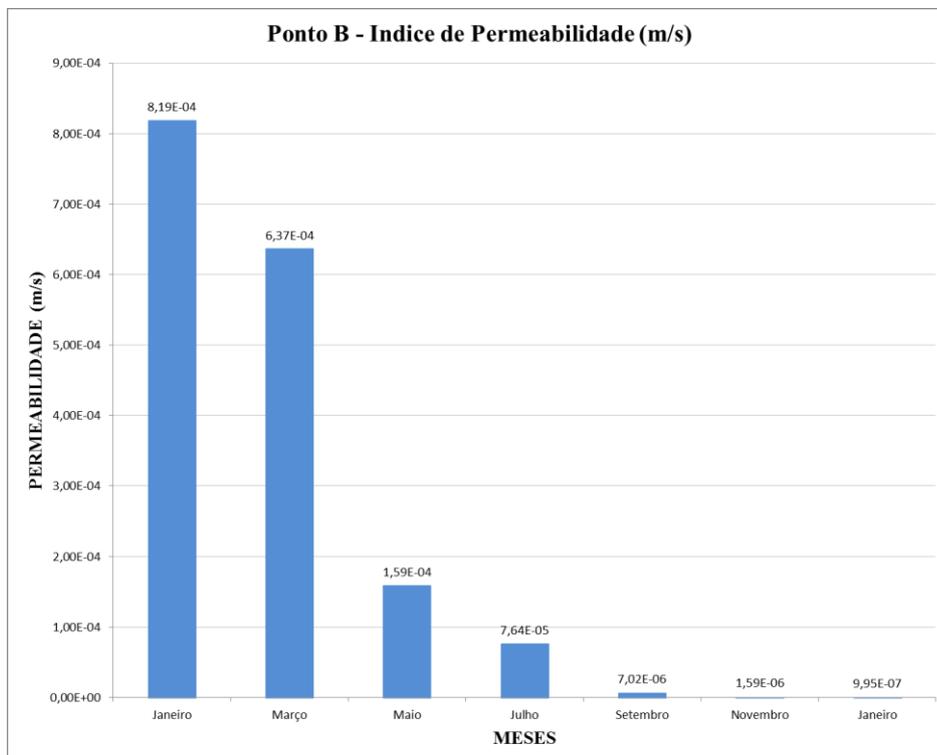


Figura 8.4: Índice de permeabilidade  
Fonte: Autor

Na figura 8.5 apresenta-se o gráfico que representa o aumento da mancha d'água em milímetros, para se obter o diâmetro da mancha d'água foram feitas duas amostras para cada ensaio.

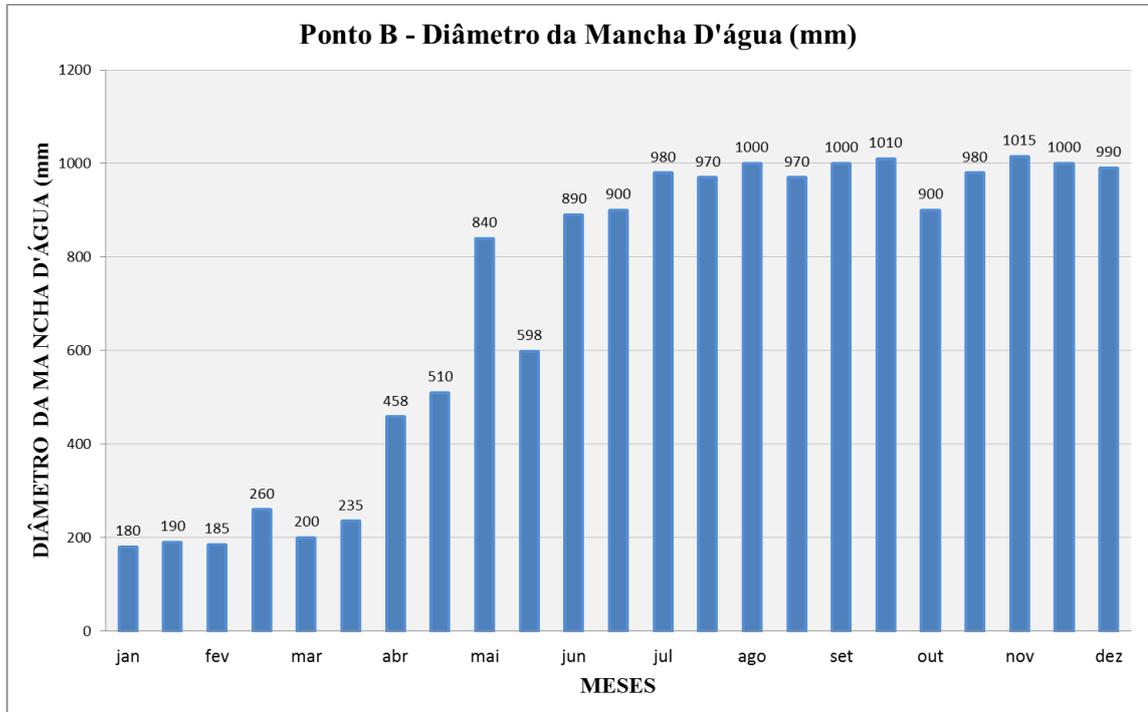


Figura 8.5: Diâmetro da mancha d'água ao longo do tempo.  
Fonte: Autor

Na figura 8.6 apresenta-se o gráfico que representa o aumento do tempo que o pavimento levou para absorver todo o volume d'água lançado para mensurar a mancha d'água, a cada amostra foram lançados três litros de água.

Observa-se que após a quinta amostra elaborada em setembro após 140 segundos havia escoamento da água e não havia infiltração considerável.

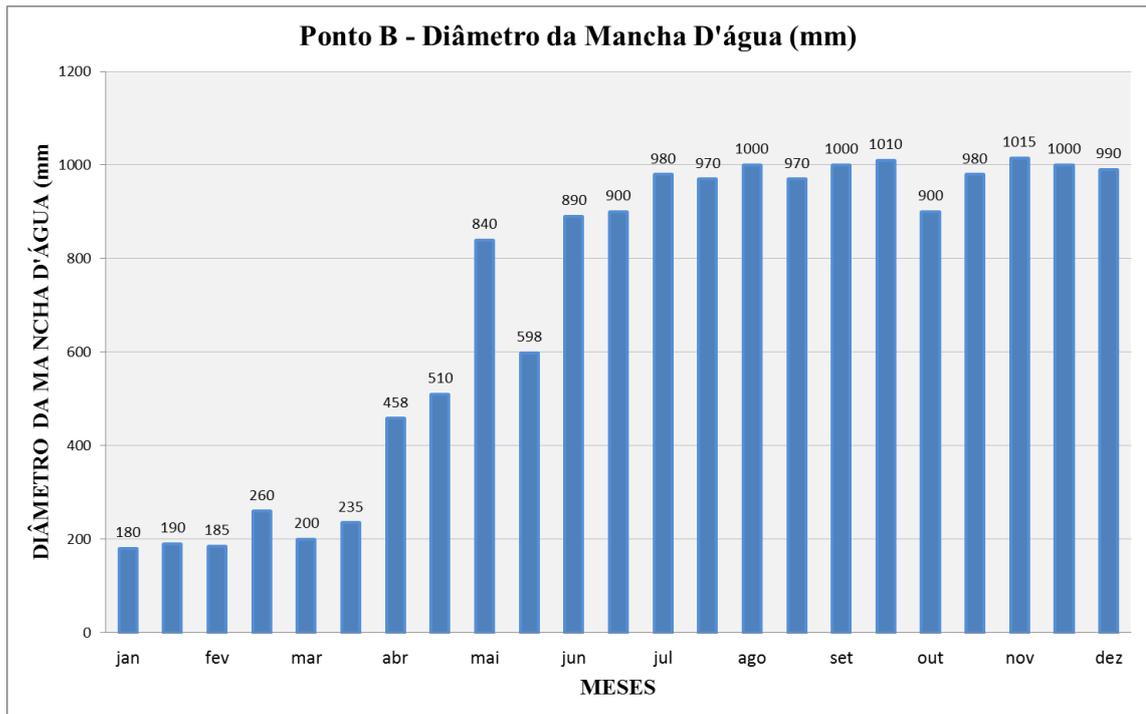


Figura 8.6: Tempo de absorção ao longo do tempo.

Fonte: Autor

## 9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A utilização dos pavimentos permeáveis com blocos de cimento poroso proporcionam algumas vantagens em relação aos pavimentos de concreto convencionais (impermeáveis) e aos revestimentos com concreto asfáltico:

- Redução da lâmina d'água sobre os pavimentos;
- Redução das ilhas de calor;
- Redução dos volumes de escoamento superficial.

Quanto aos resultados observa-se que houve diferença significativa entre os resultados do coeficiente de permeabilidade feitos em laboratórios em relação aos resultados obtidos em campo mesmo nas primeiras medições.

Deve-se haver um grande controle na implantação do sistema e principalmente deve-se analisar e garantir os coeficientes de permeabilidade das camadas de base, sub-base e também do subleito para evitar a colmatação do pavimento.

Os resultados demonstram que o sistema perde a capacidade de infiltração rapidamente, se tornando praticamente impermeável após oito meses de instalação, este resultado é preocupante e indica que os cuidados com a manutenção do pavimento devem ser mais constantes e mais criteriosos do que o recomendado, indica-se manutenção a cada seis meses, porém os estudos demonstraram que há uma perda de vinte e quatro por cento na permeabilidade do sistema apenas entre a primeira e a segunda amostragem, nas amostragens seguintes a perda é ainda muito maior.

Esse fator pode ser atribuído a questões como:

- Falta de manutenção (limpeza) do sistema ou manutenção inadequada;
- Existência de resíduos de borracha dos pneus por estarem em áreas de estacionamentos e manobras de veículos;
- Área com excesso de resíduos vegetais como folhas de árvores.

## 10 CONCLUSÃO

Pelo exposto até o momento, conclui-se que o pavimento permeável é um tipo de construção sustentável que reduz as vazões máximas e funciona como reservatórios de amortecimento. Ele pode desempenhar um importante papel na redução das ilhas de calor, pois são estruturas que recuperam da melhor forma as condições de destino das águas captadas nas superfícies das metrópoles, cada vez mais impermeabilizadas.

Previamente a implantação do sistema deve-se elaborar estudos de permeabilidade do subleito para verificar a possibilidade de infiltração direta ou se haverá a necessidade de instalação de rede com drenos de captação para direcionamento à rede de drenagem.

O universo de resultados dos ensaios realizados demonstrou que o pavimento torna-se quase impermeável ao longo do tempo, perdendo sua função inicial.

Na tomada de decisão da implantação do sistema deverão ser levantados os custos da manutenção adequada do sistema, inclusive com varredura a vácuo que é feita por caminhões com vassoura escova giratória, sistema de sucção à vácuo e jateamento de água com alta pressão.

Os estudos propostos farão algumas contribuições para testar esse tipo de pavimento e observar sua eficiência.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12266**: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro, 1992.
- ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Pervious Concrete**. Michigan, 2006. ACI 522 R-06.
- ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 162 p. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ET-DE-P00/048\_A – Pavimento com peças pré-moldadas de concreto**. São Paulo, 2006a. 13p.
- \_\_\_\_\_. **IP-DE-Q00/001\_A – Projeto de terraplenagem**. São Paulo, 2005a. 19p.
- \_\_\_\_\_. **ET-DE-P00/001\_A – Melhoria e preparo do subleito**. São Paulo, 2005b. 17p.
- \_\_\_\_\_. **ET-DE-P00/008\_A – Sub-base ou base de brita graduada**. São Paulo, 2005c. 20p.
- \_\_\_\_\_. **ET-DE-H00/018\_A – Meio fio, sarjetas e sarjetões**. São Paulo, 2006b. 6p.
- \_\_\_\_\_. **ET-DE-H00/013\_A – Mantas geotêxtis em dispositivos de drenagem**. São Paulo, 2006c. 6p.
- EPA – Environmental Protection Agency. **Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement**. Washington, 1999. EPA 832-F-99-023 Office of Water.
- GBCB - GREEN BUILDING COUNCIL DO BRASIL. **Certificação Internacional Leed**. Barueri, 2012. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/?p=certificacao>>. Acesso em: 07 maio 2014.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Senso 2010**. Rio de Janeiro, 2011, 36 p.
- MARCHIONI, Mariana. In: ABCP recomenda uso de pavimento que reduz enchentes, 2011, **Artigo ...** Local: ABCP, São Paulo, 2011, Disponível em <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/abcp-recomenda-uso-de-pavimento-que-reduz-enchentes#.U2pZvFdiYWs>>. Acesso em: 10 jan. 2014.
- MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável**. São Paulo: ABCP, 2011. 24p.

\_\_\_\_\_. **Pavimento Intertravado Permeável – Melhores Práticas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2011. p. 24.

MARTINS, Ronaldo Miotto. **Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto**. 1 imagem. Pato Branco, 2014, 49 p.

PAVERTECH. **Pavertech Projetos de Pavimentos Intertravados**. Atibaia, 2014. Disponível em: < <http://www.pavertech.com.br/projetos-de-pavimento-intertravado>>. Acesso em: 07 maio 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais – Gerenciamento do Sistema de Drenagem Urbana**. São Paulo: 2012.

RHINO PISOS. **Rhino Pisos**. Atibaia, 2014. Disponível em: <[http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/9/rhino-grade\\_nobre](http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/9/rhino-grade_nobre)>. Acesso em: 10 jan. 2014.

RIOS, M. S. S. Construção sustentável: **Análise das alternativas e suas aplicações em edificações na cidade de Fortaleza. Trabalho de Conclusão de Curso**, Fundação Edson Queiroz, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, Ceará, 2008.

REIS, Ricardo Prado Abreu; DE OLIVEIRA, Lúcia Helena; SALES, Maurício Martinés. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, 2008.

SENÇO, Wastermiller. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Pré-Dimensionamento Hidrológico de Pavimentos Permeáveis e Trincheiras de Infiltração. In: Simpósio da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: ABRH, 2003, p. 4.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Pavimento permeável**. São Paulo: ABCP, 2013. Manual Técnico. Disponível em: < [http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF\\_Pav%20Permeavel\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2014.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Soil mechanics in engineering practice**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1967, 729 p.

TONON, Beatriz Frasão. **Análise Teórica das Características da Estrutura do Pavimento Intertravado de Concreto**. In: ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, PRESIDENTE PRUDENTE, 2011, Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, 2011. P.224.

TUCCI, Carlos E. M.; GENZ, Fernando. Controle do impacto da urbanização. **Tucci, CEM, Porto, RL, Barros, MT**, (organizadores) Drenagem Urbana. ABRH. Ed. Da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, p. 277-347, 1995.

TUCCI, Carlos E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepções. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio Grande do Sul, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, Carlos E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepções. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio Grande do Sul, v. 4, número, p. 01, 2005.