

## CARACTERIZAÇÃO DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM PAVIMENTO PERMEÁVEL EM SANTA MARIA - RS

### **Antônio Daniel Boff Vieira**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria.  
antoniodanielboffv@gmail.com

### **Jonathan Rehbein dos Santos**

Acadêmico de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria.  
jonathanrehbein\_06@hotmail.com

### **Lucas Alves Lamberti**

Acadêmico de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria.  
lucas.lamberti@hotmail.com

### **Pedro Schmidt Ilha**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria.  
ped.ha@hotmail.com

### **Rossano Streppel Vieira**

Acadêmico de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria.  
rossanostreppel@gmail.com

### **Tatiana Cureau Cervo**

Professora do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria.  
cervo.tatiana@gmail.com

**Resumo.** Para o bom funcionamento dos pavimentos permeáveis é necessário que o subleito, dentre outras propriedades, possua permeabilidade suficiente para que a água infiltre no solo após percolar pelo pavimento. Caso o solo não possua permeabilidade suficiente é necessário projetar o pavimento permeável de maneira diferente. Este trabalho propõe apresentar ensaios de caracterização de um solo onde será implementado um estacionamento no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria - RS e especular qual a mais adequada estrutura do pavimento tendo em vista o objetivo de evitar o escoamento superficial. Foram realizados os ensaios de granulometria, Proctor Normal com reutilização da amostra, Índice de Suporte Califórnia (CBR), infiltração do solo (anéis concêntricos) e condutividade hidráulica horizontal: poço invertido. Concluiu-se que o solo possui condutividade hidráulica adequada para a instalação do pavimento permeável.

**Palavras-chave:** Pavimento permeável. Capacidade de infiltração. Subleito.

## 1. INTRODUÇÃO

O acúmulo de água na superfície de pavimentos tornou-se um problema nos grandes centros urbanos, devido à impermeabilização do solo que reduz a área onde as águas pluviais poderiam se infiltrar, gerando o escoamento superficial em eventos de chuva.

Esse escoamento superficial deveria ser retirado das vias pelo sistema público de drenagem. Contudo, a drenagem pluvial tem se mostrado ineficiente, não conseguindo captar o escoamento gerado por precipitações que produzem volumes inferiores ao seu volume de projeto. Essa água não drenada é responsável por acidentes ocasionados por aquaplanagem, perdas materiais e proliferação de doenças, logo deve ser destinada para locais adequados.

Uma técnica construtiva que vem sendo estudada para auxiliar na remoção das águas pluviais é a utilização de pavimentos permeáveis. As propriedades do subleito influenciam no funcionamento de um pavimento permeável. Caso o solo apresente permeabilidade elevada, pode-se considerar que toda água infiltrará no local. Entretanto, se o subleito não apresentar condições de infiltração, deve ser considerado no projeto drenos para remoção da água armazenada pela estrutura. Nas ocasiões em que o solo apresenta permeabilidade, mas ainda é insuficiente para os eventos de chuva, considera-se que parte da precipitação irá infiltrar no terreno e parte será conduzida pelo sistema de drenagem (EISENBERG et al., 2015).

Batezini (2013) corrobora que serão necessários sistemas de drenagem para o escoamento da água armazenada se o solo do subleito apresentar baixas taxas de infiltração. EPA (1999) propõe que não seja realizada a compactação da camada de subleito em locais que serão implementados esses pavimentos. Afinal, CRMCA (2009) atenta que, quando o subleito for considerado permeável, a compactação deve ser mínima para não interferir na capacidade de infiltração.

Como parte de um amplo estudo de implementação de um pavimento permeável no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), este trabalho propõe realizar e apresentar ensaios de caracterização do solo no local, bem como especular sobre sua contribuição na estrutura do pavimento permeável, que será determinada a partir de pesquisas futuras.

## **2. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS**

A NBR 16416 (2015) define pavimento permeável como aquele que suporta aos esforços mecânicos e condições de tráfego ao mesmo tempo em que permite a percolação da água em sua estrutura sem qualquer dano.

O pavimento permeável possui três sistemas quanto à infiltração da água precipitada em sua superfície (EISENBERG et al., 2015; NBR 16416, 2015; WOODS-BALLARD, 2015). Sendo eles: Sistema de infiltração total, onde o solo de subleito possui boa permeabilidade e toda a água precipitada percola pela estrutura do pavimento e infiltra-se no solo ao longo do tempo. A Figura 1 representa o sistema de forma esquemática. Sistema de infiltração parcial: O solo do subleito é permeável, porém não suporta toda a água precipitada sobre o pavimento. Então, parte da água percola pela estrutura e infiltra no subleito, e o restante escoar através de drenos. A Figura 2 esquematiza o sistema de infiltração parcial. Sistema sem infiltração: O solo de subleito não apresenta capacidade de infiltração. Dessa forma, toda a água é escoada através da drenagem. Esse sistema pode ser implementado em locais onde o solo é permeável, porém, por determinação de projeto, não é adequada à infiltração da água. Nesse caso deve-se impermeabilizar a superfície do subleito. A Figura 3 representa este sistema.

A utilização de pavimentos permeáveis, além de auxiliar no controle das cheias, permite reutilizar a água da chuva e abastecer o lençol freático com material mais adequado, pois a estrutura do pavimento atua como filtro de impurezas e metais pesados (IMRAN et al., 2013).

A taxa de infiltração dimensiona a facilidade de percolação da água no solo em sentido vertical e é expressa comumente em milímetros/hora. Outro parâmetro importante para a caracterização do solo é a condutividade hidráulica, ou coeficiente de permeabilidade. A tabela 1 apresenta alguns coeficientes de permeabilidade médios de solos de referência (TERZAGHI et al., 1996).

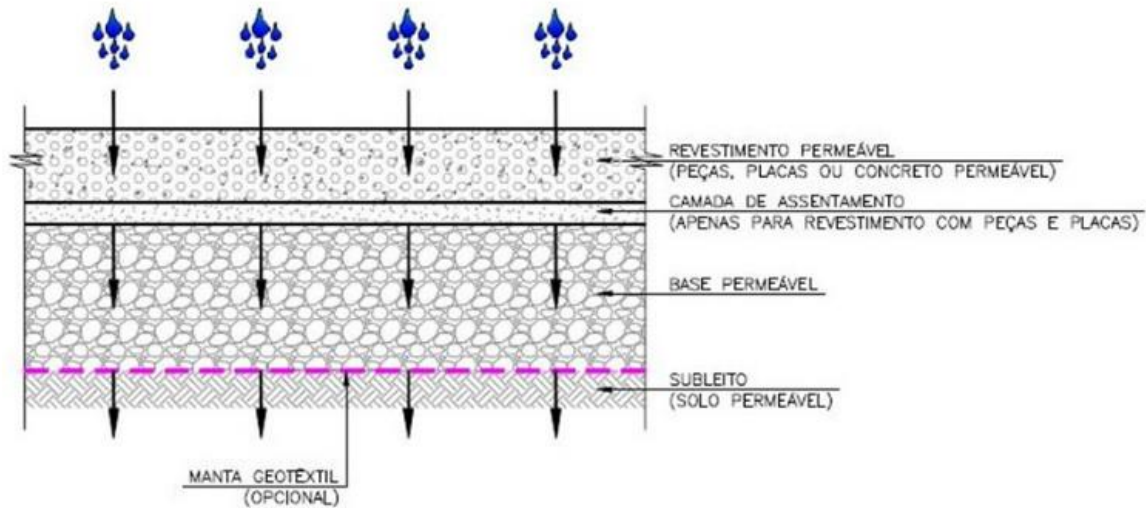
Sabe-se que os locais para instalação de pavimentos permeáveis devem possuir solos com boa capacidade de infiltração, pequenas declividades e lençol freático distante da superfície, embora os valores de referência

variem. Para a taxa de permeabilidade do solo, encontram-se valores mínimos entre 0,036 mm/h e 13 mm/h (WOODS-BALLARD et al., 2015; ACIOLI, 2005; TUCCI, 2003; EPA, 1999; URBONAS E STAHERE, 1993).

A recomendação para a declividade máxima do revestimento varia entre 5% (ACIOLI, 2005; EPA, 1999; URBONAS E

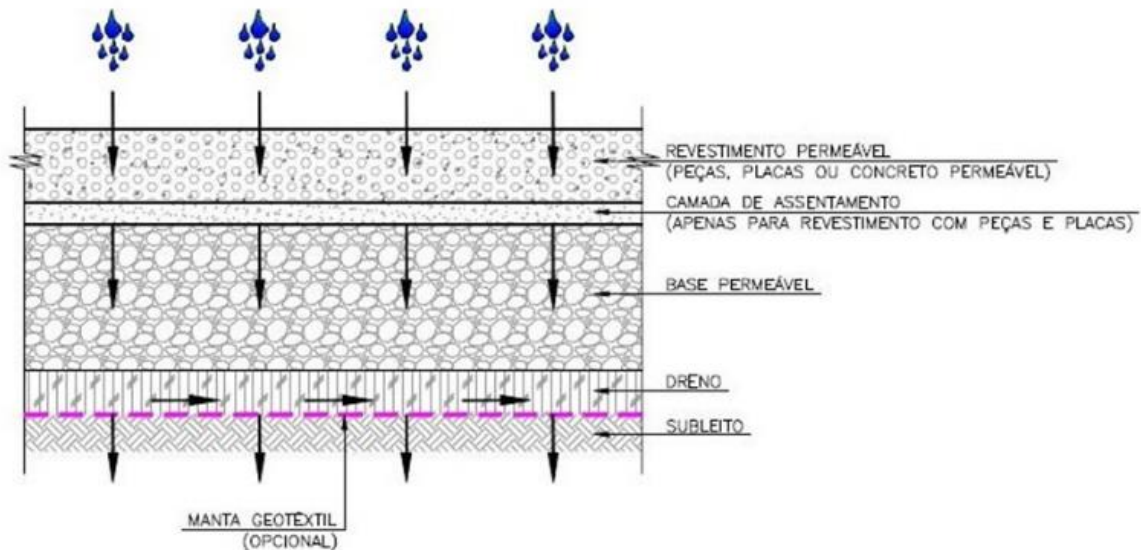
STAHERE, 1993) e 16%, neste caso com adaptações do método construtivo (TENNIS et al., 2004). Já para a distância do lençol freático, encontram-se valores mínimos variando entre 0,6 m e 1,2 m do fundo do dispositivo (NBR 16416, 2015; TUCCI, 2003; EPA, 1999; URBONAS E STAHERE, 1993).

Figura 1. Sistema de infiltração total



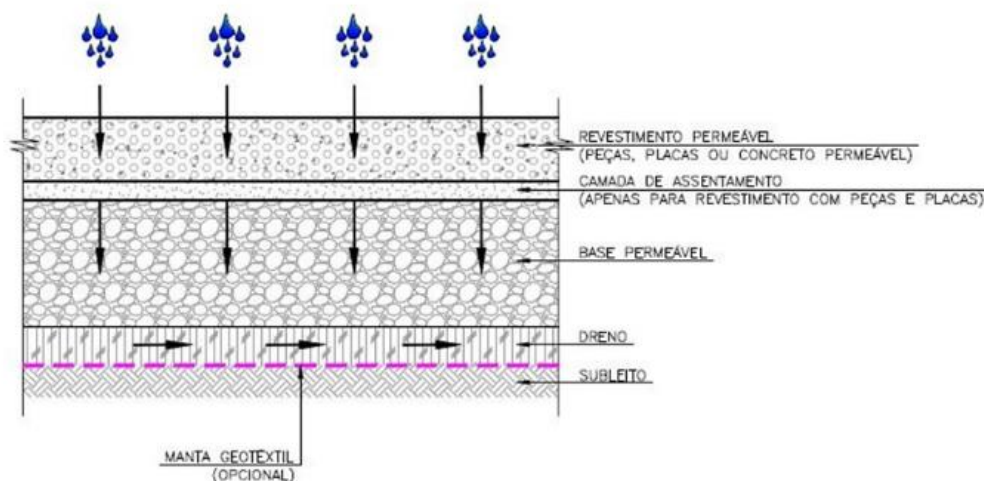
Fonte: LPE Engenharia (2016).

Figura 2 - Sistema de infiltração parcial



Fonte: LPE Engenharia (2016).

Figura 3 - Sistema sem infiltração



Fonte: LPE Engenharia (2016).

Tabela 1. Coeficientes de permeabilidade dos solos.

Tipo de Solo	Coeficiente de permeabilidade médio	
	m/s	mm/h
Brita	$>10^{-3}$	$>3600$
Pó de Brita, areia limpa, areia fina	$10^{-5}$ a $10^{-3}$	36 a 3600
Areia suja, silte arenoso	$10^{-7}$ a $10^{-5}$	0,36 a 36
Silte, silte argiloso	$10^{-9}$ a $10^{-7}$	0,0036 a 0,36
Argila	$<10^{-9}$	$<0,0036$

Fonte: Adaptado de Terzaghi et. al. (1996).

### 3. METODOLOGIA E RESULTADOS

Os ensaios foram feitos no local de implantação de oito vagas de estacionamento com estrutura permeável, sendo divididas em quatro diferentes revestimentos: Bloco de concreto intertravado, bloco de concreto poroso intertravado, concreto permeável e blocos vazados de concreto (pisograma). As vagas se encontram próximo ao prédio 09E, no campus da UFSM.

Foram realizados ensaios para definir a viabilidade de implantação e dimensionamento da estrutura dos pavimentos permeáveis no local do estacionamento. Os ensaios realizados foram:

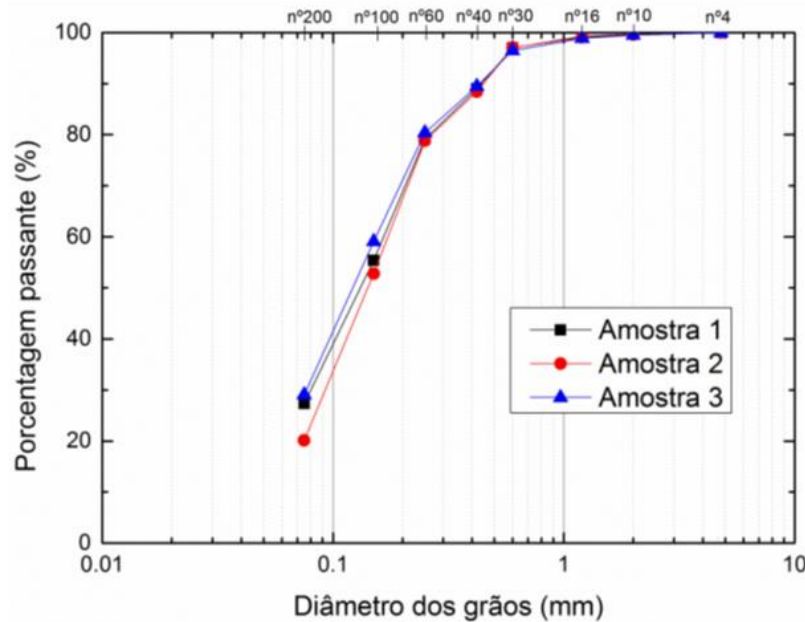
- granulometria;
- proctor normal com reutilização da amostra;
- índice de suporte Califórnia (CBR);
- infiltração do solo (anéis concêntricos);
- condutividade hidráulica horizontal: poço invertido.

#### 3.1 Granulometria

O ensaio granulométrico do solo foi realizado por meio de peneiramento. Foram coletadas três amostras do local, obtidas a uma profundidade de 40 cm da superfície, e levadas à estufa. Após estarem secas e destorroadas, foram pesadas para iniciar o

procedimento de ensaio. O resultado das três amostras está na figura 4.

Figura 4 – Curva granulométrica do solo presente na base do estacionamento



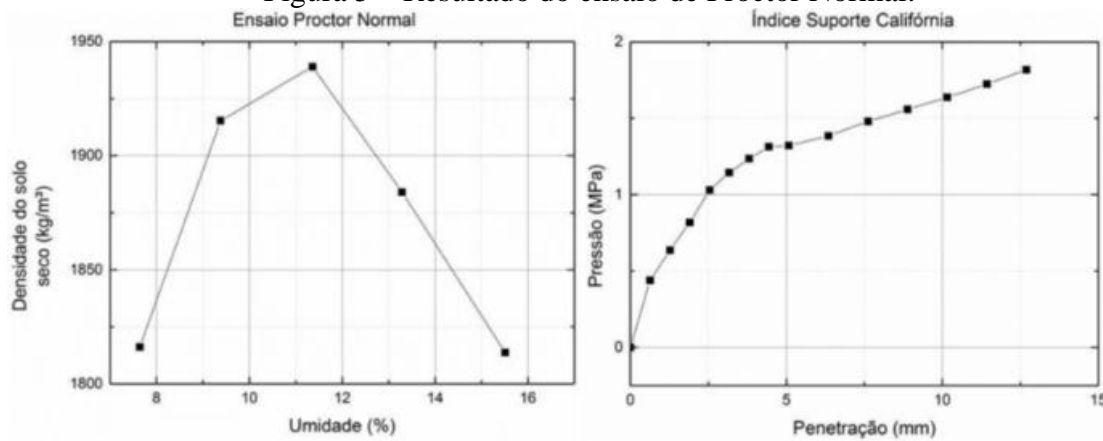
Fonte: Autor

### 3.2 Proctor normal com reutilização da amostra

O ensaio de Proctor Normal determina a umidade ótima, em que o solo apresenta maior densidade, chamada de umidade ótima. Compacta-se uma porção de solo com

diferentes teores de umidade, de modo a acrescentar água e verificar a densidade, até constatar um declínio da densidade. A figura 5 apresenta a curva de compactação média das amostras analisadas. Verificou-se uma umidade ótima de 11,4%, com densidade máxima de 1939 kg/m<sup>3</sup>.

Figura 5 – Resultado do ensaio de Proctor Normal.



Fonte: Autor.

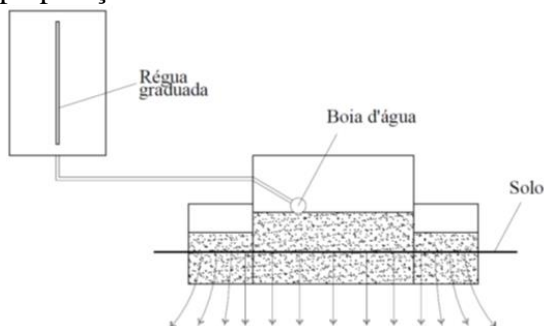
### 3.3 Índice de suporte Califórnia (CBR)

O ensaio de CBR determina a resistência do solo à penetração de um pistão a uma velocidade definida. O resultado é dado em porcentagem, comparado com o valor de referência de brita graduada. Realizou-se o ensaio com a amostra na umidade ótima obtida no ensaio de Proctor Normal (figura 4) e obteve-se um índice CBR de 14,94%.

### 3.4 Infiltração do solo (anéis concêntricos)

A realização do ensaio de infiltração do solo é necessária para o cálculo do volume do reservatório, o qual deve ter capacidade para acomodar a chuva de projeto. A velocidade de infiltração da água no solo local foi obtida através do ensaio conhecido como anéis concêntricos. Fez-se a cravação dos anéis diretamente no solo local, isento de grama e levemente regularizado. Foi posicionado um saco plástico no fundo do cilindro menor após a cravação, para que fosse possível adicionar a água até o nível correto sem que ocorresse a infiltração no solo. O equipamento disponível conta com um reservatório onde são feitas as leituras de infiltração e uma boia no cilindro menor que mantêm o nível constante. A figura 6 mostra a preparação e esquema do ensaio. A figura 7 mostra uma imagem da realização do ensaio.

Figura 6 – Esquema de funcionamento e preparação do ensaio de anéis concêntricos.



Fonte: Autor.

Figura 7 - Realização do ensaio de infiltração no solo (anéis concêntricos).



Fonte: Autor.

A tabela 2 mostra o resultado do ensaio de infiltração realizado. A aproximação pela curva Horton foi feita com um beta igual a 0,026.

Pode-se observar que a taxa de infiltração com o solo em condição saturada é de 8,15 mm/h, ou  $2,26 \times 10^{-4}$  cm/s. Trata-se de uma taxa aceitável, que dispensa o uso de dreno no reservatório dos pavimentos permeáveis.

Entretanto, cabe ressaltar que a camada de revestimento, quando concreto permeável, pode chegar a 1,30 cm/s (LAMBERTI et al., 2017; VIEIRA et al., 2018).

Tabela 2. Resultado de infiltração pelo ensaio de Anéis Concêntricos

Tempo acumulado (min)	Tempo desacumulado (min)	Altura medida (cm)	Varição da lâmina d'água real (cm)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Aprox. Horton (mm/h)
0	0	193,2	0,00	0,00	0,00
2	2	193,1	0,07	20,37	19,75
5	3	193,0	0,07	13,58	18,88
11	6	192,7	0,20	20,37	17,33
16	5	192,5	0,14	16,29	16,21
21	5	192,2	0,14	16,29	15,22
26	5	192,1	0,14	16,29	14,36
31	5	191,9	0,14	16,29	13,60
41	10	191,6	0,20	12,22	12,35
51	10	191,1	0,20	12,22	11,39
61	10	191,0	0,14	8,15	10,65

76	15	190,8	0,20	8,15	10,65
76	15	190,8	0,20	8,15	9,84
106	30	190,4	0,34	6,79	8,92
136	30	190,0	0,20	4,07	8,50
166	30	189,5	0,34	6,79	8,31
196	30	189,0	0,34	6,79	8,15
226	30	188,3	0,41	8,15	8,15
256	30	187,8	0,41	8,15	8,15

Fonte: Autor.

### 3.5 Condutividade hidráulica horizontal: poço invertido

Foi adotado o método conhecido como poço invertido, ou método de rebaixamento, descrito pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE, 2013), dado que o nível do lençol freático se situa a uma distância considerável da superfície. O procedimento é realizado de acordo com as seguintes etapas (BARBASSA et al., 2009): Inicialmente é preenchido o poço com água até a superfície e então saturá-lo por dez minutos. Após esse período, interromper o fornecimento de água e considerar este instante como tempo zero. Feito isso, acompanha-se o rebaixamento do nível em intervalos curtos no começo e mais longos depois. Ex.: 15s, 30s, 1min, 2min, 3min, 4min, 5min, etc. Encerra-se o ensaio quando o rebaixamento do nível for de 20% da carga hidráulica inicial ou em 30 minutos de observação. O coeficiente de permeabilidade é calculado pela equação 1.

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \left( \frac{r}{R} \right)^2 \quad (1)$$

Sendo:

K: coeficiente de permeabilidade (m/s);

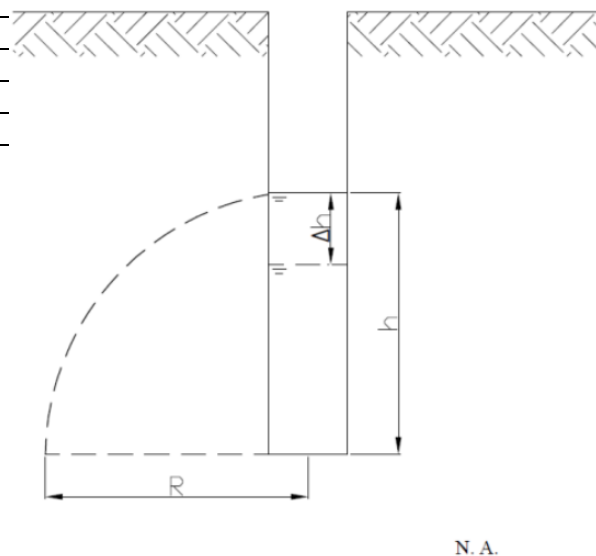
$\Delta h$ : rebaixamento da carga d'água (m);

$\Delta t$ : o intervalo de tempo (s);

r: raio do poço (m);

R: raio que considera que a percolação no solo se faz conforme uma parábola cujo vértice está no centro do fundo do furo (componente R pode ser analisada conforme esquema da figura 8 e seu cálculo é feito conforme equação 2).

Figura 8 – Esquema de ensaio de poço invertido



Fonte: Adaptado de ABGE (2013).

$$R = \frac{\sqrt{1+4 \times h} - 1}{2} \quad (2)$$

Sendo h: altura da lâmina d'água no poço.

O ensaio foi realizado em três pontos do estacionamento, denominados PI 1, PI 2 e PI 3, com profundidades dos furos de 80cm, 78cm e 79cm, respectivamente, e diâmetros de 30cm. Os resultados são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Condutividade Hidráulica obtida pelo ensaio de poço invertido.

Ponto	Condutividade Hidráulica	
	cm/min	mm/h
PI 1	0,009	5,584
PI 2	0,003	2,090
PI 3	0,012	7,320
<b>Média</b>	<b>0,008</b>	<b>4,968</b>

Fonte: Autor.

## 4. CONCLUSÃO

Analisando os resultados encontrados percebe-se que o solo no local de implantação

do estacionamento possui condições de receber o pavimento permeável. Contudo, foram instalados drenos no subleito que permitem esvaziar o reservatório em caso de cheia, pois, como visto, a capacidade drenante do solo é inferior à do revestimento.

## 5. REFERÊNCIAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para sua execução no campo**. São Paulo, 2013.

ACIOLI, L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 145 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e Procedimentos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT setembro 2015. 25 p.

BARBASSA, A. P.; JUNIOR, C. X. O.; GUTIERREZ, L. A. R.; LUCAS, A. H. **Coefficiente de permeabilidade em ensaio de poço Invertido: efeito do tempo de umedecimento prévio e métodos de cálculo**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Mato Grosso do Sul, 2009.

BATEZINI, R. **Estudo Preliminar De Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos de Tráfego Leve**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. 133 p.

CRMCA. **Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design**. Version 1.2. Colorado Ready Mixed Concrete Association, 2009. 24 p.

EPA. **Storm Water Technology Fact Sheet – Porous Pavement**. Environmental Protection

Agency. Office of water, Washington, D.C. 1999. 7 p.

EISENBERG, B.; LINDOW, K. C.; SMITH, D. R. **Permeable Pavements**. The Low Impact Development Committee, The Urban Water Resources Research Council, The Environmental and Water Resources Institute and The American Society of Civil Engineers, USA, 2015. 249 p.

IMRAN, H. M.; AKIB, S.; KARIM, M. R. **Permeable Pavement and Stormwater Management Systems: A Review**. Environmental Technology, 2013. 9 p.

LAMBERTI, L. A.; SANTOS, J. R.; CASSOL, M. A.; MELO, W. W.; PICCILLI, D. G. A.; CERVO, T. C. **Caracterização da Permeabilidade de Concretos Por Meio de Permeâmetro de Carga Variável e Carga Constante**. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2017, 2017. 16 p.

LPE Engenharia. **Pavimento Intertravado: É sempre permeável?** Disponível em: <[lpe.tempsite.ws/blog/index.php/pavimento-intertravado-e-sempre-permeavel](http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/pavimento-intertravado-e-sempre-permeavel)>. Acesso em 25/08/18.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements**. EB302.02, Portland Cement Association, Skokie Illinois, e National Ready Mixed Association, Silver Spring Maryland, USA, 2004. 36 p.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; GHOLAMREZA, M. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. John Wiley e Sons, 3 ed., New York, 1996.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. **Inundações Urbanas na América do Sul**, Porto Alegre: ABRH, p. 45-129, 2003.

URBONAS, B.; STAHRÉ, P. **Stormwater best management practices and detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p. 1993.



VIEIRA, A. D. B.; SANTOS, J. R.;  
LAMBERTI, L. A.; CERVO, T. C. **Utilização  
de Fresado Asfáltico como Substituto de  
Agregados Naturais na Produção de  
Concreto Permeável para Utilização em  
Vias de Tráfego Leve.** 32º ANPET –  
Congresso de Pesquisa e Ensino em  
Transportes, 2018. 10 p.

WOODS-BALLARD, B.; WILSON, S.;  
UDALE-CLARKE, U.; SCOTT, T.;  
KELLAGHER, R. **The SuDS Manual.**  
CIRIA C753, London, 2015. 940 p.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da  
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal  
de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código  
de Financiamento 001, bem como da Rede  
Temática do Asfalto, ANP/PETROBRAS pelo  
apoio as pesquisas no GEPPASV/UFSM.