

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS.

Matheus Frederik Barros Santos – matheusfbsantos17@gmail.com

Rita de Cassia André – eng.rita.andre@gmail.com

FACULDADE GALILEU

Resumo: Este trabalho tem como objetivo a análise técnica da pavimentação permeável, sendo os tipos de pavimentos estudados a pavimentação em paralelepípedos, pavimentação em blocos de concreto vazado e pavimentação em pedrisco, com a finalidade de expor suas vantagens e desvantagens para a drenagem pluvial, custos e sua taxa de permeabilidade. Notou-se no decorrer da execução deste trabalho que a pavimentação permeável é uma boa alternativa para drenagem pluvial. A pavimentação em paralelepípedos apresenta um custo benefício favorável, porém sua taxa de permeabilidade foi menor que a taxa da pavimentação em blocos de concreto vazado que também apresentou um ótimo custo benefício. Foram realizados ensaios conforme a NRB 16416-2015 para obter-se os dados necessários com o objetivo de encontrar a taxa de permeabilidade destes modelos de pavimentação, podendo-se afirmar que através dos resultados obtidos a pavimentação com melhor permeabilidade e adequada para passagem de veículos seria a pavimentação em blocos de concreto vazado, contudo é preciso analisar o local que será implementado esta pavimentação referente ao fator de resistência. Portanto, localidades que não haja um sistema de drenagem pluvial, as pavimentações permeáveis são uma ótima solução para que haja uma melhor permeabilidade no sistema de drenagem e não ocorra inundações ou acúmulos de lâminas d'água.

Palavras-chaves: Pavimentação permeável; Pavimento em paralelepípedos; Pavimento em bloco vazado; Pavimento em pedrisco; Escoamento superficial.

ESTUDO DE PERMEABILIDADE EM PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL EM CALÇAMENTO INDUSTRIAL PARA CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Matheus Frederik Barros Santos – matheusfbsantos17@gmail.com

Rita de Cassia André – eng.rita.andre@gmail.com

FACULDADE GALILEU

Abstract: *The objective of this work is the technical analysis of permeable paving, with the types of pavement studied being paving in paralelepipedes, paving in hollow concrete blocks and paving in gravel, with the purpose of exposing its advantages and disadvantages for rainwater drainage, costs and its permeability rate. It was noted during the execution of this work that permeable paving is a good alternative for rainwater drainage. Paving in paralelepipedes has a favorable cost-benefit ratio, but its permeability rate was lower than the rate of paving in hollow concrete blocks, which also presented a great cost-benefit ratio. Tests were carried out according to NRB 16416-2015 to obtain the necessary data in order to find the permeability rate of these paving models, it can be stated that through the results obtained, the paving with better permeability and suitable for the passage of vehicles would be paving in hollow concrete blocks, however it is necessary to analyze the place where this paving will be implemented regarding the resistance factor. Therefore, in locations where there is no rainwater drainage system, permeable paving is a great solution to ensure better permeability in the drainage system and prevent flooding or accumulations of water.*

Keywords: *Pervious paving; Pavement in cobblestones; Floor in hollow block; Benefits; Disadvantages; Permeability; Cost.*

1. INTRODUÇÃO

Diante a situação atual, muitas empresas nem sempre se preocupam com um sistema de drenagem pluvial adequado, sistema esse que vem a falhar devido à má conduta dos seres humanos na poluição e nas grandes quantidades de construções trazendo deficiência de permeabilidade para o escoamento da chuva. Segundo (VIRGILIIS, 2009), o pavimento permeável seria uma solução de drenagem para evitar aquaplanagem, ilhas de calor entre outros, contribuindo em vários aspectos tanto ecológico quanto em segurança.

O estudo do escoamento superficial engloba, portanto, desde a simples chuva que cai sobre o solo, permeável ou impermeável, e escorre superficialmente, até o grande curso de água que se despeja no mar (BUREAU, 1953).

O pavimento permeável é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície com uma alta porosidade, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (Urbonas e Stahre, 1993).

Uma das soluções para os sistemas de drenagem pluvial é a adoção do controle do escoamento superficial. Sudersha (2002) sugere que se pode dividir as técnicas de drenagem em dois grupos, que seguem dois princípios básicos: (1) A infiltração da água no solo, quando possível, para reduzir o escoamento superficial à jusante (dispositivos de infiltração); (2) O armazenamento provisório da água pluvial, para controlar o escoamento superficial e limitar a poluição a jusante (dispositivos de retenção e detenção).

Araújo e outros (2000) apresenta como solução para a questão da impermeabilização do solo, a utilização de pavimentos permeáveis. Estes pavimentos têm superfície perfurada ou porosa, que permitem a infiltração de uma parte das águas que escoam superficialmente para uma camada de reserva localizada abaixo do terreno. O mesmo autor classifica os pavimentos permeáveis como sendo: pavimento de asfalto poroso, pavimento de concreto poroso e pavimento de blocos de concreto perfurados preenchido com areia ou grama.

Segundo a NBR 16416 (2015) os pavimentos permeáveis de concreto podem ser construídos com as seguintes tipologias: revestimentos em peças de concreto com juntas alargadas, revestimento em peças de concreto com áreas vazadas, revestimento de peças de concreto permeável, revestimento em placas de concreto permeável e revestimento de pavimento de concreto permeável.

Para Mota e outros (2013), podem ser destacadas como as principais vantagens dos pavimentos permeáveis, comparados aos convencionais (impermeáveis): a melhoria na segurança e conforto, pois há redução na formação de poças de água e, conseqüentemente,

melhoria na aderência; para pavimentos de infiltração, observa-se ganhos ambientais, como a recarga das reservas de água subterrâneas; para pavimentos porosos, ocorre a melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do pavimento, fazendo com que o material grosseiro fique retido na superfície; ainda podem se destacar os benefícios financeiros, associados à redução das dimensões do sistema de drenagem de jusante.

Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) ressaltam que, apesar de muitas vantagens os pavimentos permeáveis, ainda possuem algumas limitações, principalmente, quando a água drenada é fortemente contaminada, pois haverá o impacto sobre o lençol freático, devido a ação do contaminante infiltrado e a falta de controle na construção e manutenção por conta do possível entupimento dos vazios, podendo causar a ineficiência do produto.

Podemos identificar, ainda, uma grande viabilidade econômica nesses produtos, segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), o custo unitário para a aplicação dos blocos de concreto vazado são de R\$91,40 por m².

O pavimento com paralelepípedos Segundo Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006, p. 100): Estes revestimentos são constituídos por blocos regulares, assentes sobre um colchão de regularização constituído de material granular apropriado. As juntas entre os paralelepípedos podem ser tomadas com o próprio material do colchão de regularização, pedrisco, materiais ou misturas betuminosas ou com argamassa de cimento Portland.

Os paralelepípedos podem ser fabricados de diversos materiais sendo os mais usuais constituídos de blocos de granito, gnaiss ou basalto e deverão atender os requisitos da EM-8 da ABNT no que se refere à natureza ou origem, à regularidade geométrica e às dimensões mínimas e máximas recomendáveis.

Para Bortoluzzi (1986), quando comparado a pavimentos mais sofisticados o uso da pavimentação por paralelepípedos possui algumas vantagens, tais como: não exigir altos investimentos, dispensa uma sequência complexa de etapas, manutenção simples, não necessita de uma fiscalização especializada, aproveita grande parte de mão de obra não especializada local e substitui o uso de derivados de petróleo e outras matérias primas importadas.

Quanto à questão de conforto ao usuário, o pavimento com paralelepípedo não atende as expectativas. É possível encontrar uma série de imperfeições em pavimentos com paralelepípedos, os defeitos mais frequentes que ocorrem nos pavimentos de paralelepípedos e alvenaria polidrica são devidos, principalmente, a incorreções na execução da base e do subleito.

Dentre os defeitos mais comuns, observa-se superfícies escorregadias, deslocamentos das pedras constituintes do pavimento, abatimentos do pavimento, afloramento de materiais

argilosos do subleito, ondulações no pavimento, afundamentos, panelas e ocos. (Bortoluzzi. Id ibid.; 1986, p. 79).

Temos a seguinte questão: A pavimentação permeável seria capaz de suprir a drenagem pluvial?

Neste contexto, o presente estudo de caso visa contribuir com a implementação e monitoramento de alguns tipos de pavimentação permeável, e avaliar a sua viabilidade de uso em condições de clima e solo específicas da região de Botucatu – SP, visando chegar à conclusão se a pavimentação permeável seria uma boa opção para a drenagem pluvial.

Este estudo tem como objetivo expor a relevância da pavimentação permeável mostrando suas vantagens e desvantagens e contribuir com a sociedade. Visa-se que haja continuidade no tema para novas conclusões.

Os objetivos específicos são:

- a. Definir os tipos de pavimentações permeáveis para esse estudo de caso;
- b. Definir o coeficiente de permeabilidade;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

A Norma de Pavimentos Permeáveis de concreto, NBR 16416-2015, define o pavimento permeável como “estrutura construída após a terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto à resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos; Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; Resistir aos esforços horizontais que nela atuam tomando mais durável a superfície de rolamento.”

Os pavimentos são classificados nas seguintes tipologias:

a. REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO COM ÁREAS VAZADAS

Revestimento permeável cuja percolação de água ocorre por áreas vazadas das peças de concreto, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Pavimento com revestimento constituído por peças de concreto com áreas vazadas.



Fonte: <https://projetobatente.com.br/quatro-tipos-de-pavimentacoes-permeaveis/>

b. PAVIMENTO DE PARALELEPÍPEDOS.

Segundo a norma do DNIT (2006) o revestimento de paralelepípedo é constituído por blocos regulares e assentados sobre um colchão de regularização de material granular apropriado, as juntas entre os paralelepípedos podem ser tomadas com o próprio material do colchão de regularização, pedrisco, materiais betuminosos ou argamassa de cimento Portland, conforme mostrado na Figura 2. Entretanto, o material que compõe as camadas estruturantes até o colchão de areia que irá receber esses paralelepípedos devem ter uma compactação boa e ser um material adequado para a demanda de trânsito que irá transitar por aquele local. Quando não há uma boa compactação esse revestimento apresenta algumas patologias que prejudicam a locomoção de veículos e pessoas, as principais patologias que aparecem são as ondulações, afundamentos e buracos causados pelo desprendimento dos paralelepípedos.

Figura 2 – Pavimento com revestido feito em paralelepípedos.



Fonte: <http://pavimentar.blogspot.com/2014/12/pavimentacao-paralelepipedo-rj.html>

2.2. PERMEABILIDADE

O cálculo do coeficiente de permeabilidade (k) se faz necessário calcular o coeficiente

de permeabilidade (k), para verificar se está de acordo com a ABNT NBR 16416/2015. Que cita no Anexo A.5 da norma vigente. Conforme descrição da seguinte equação:

$$k = C \cdot m / (d^2 \cdot t) \quad (1)$$

Onde:

k = Coeficiente de permeabilidade (mm/h)

m = Massa de água infiltrada (kg)

d = Diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm)

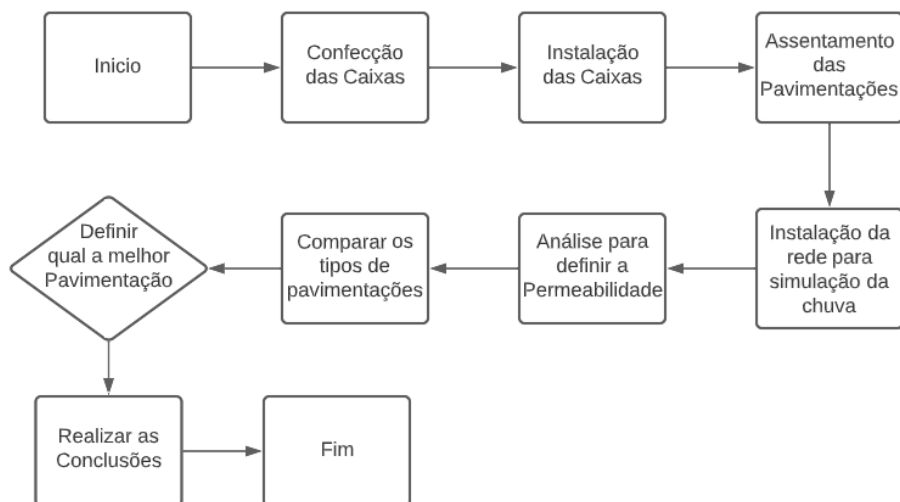
t = Tempo necessário para toda a água percolar (s)

C = Fator de conversão de unidades do sistema SI, valor igual a 4583666000

3. MÉTODO

3.1. FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO DO PROJETO.

Fluxograma 01: Procedimento do projeto prático.



3.2. PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO

Trata-se de um estudo de abordagem quantitativa. Caracteriza-se por ser quantitativa devido a realização das análises de viabilidade técnica da pavimentação, sendo necessário analisar o

processo de permeabilização a partir da mensuração de parâmetros matemáticos para observar as vantagens e as desvantagens durante o processo de coleta dos dados.

Inicialmente foi feito um levantamento teórico através de artigos, revistas, normas da ABNT, voltados a tipos de pavimentações e suas permeabilidades. Após a realização dos estudos sobre o assunto, foi iniciado um estudo de caso.

Em campo, iniciou-se a confecções das caixas de madeira MDP para que a mesma recebesse as pavimentações que estudadas neste trabalho. Após a confecção foi iniciado a instalação das caixas conforme Figura 4 (A).

Em seguida foi realizada a preparação do solo para o assentamento dos tipos de pavimentação conforme Figura 4 (B).

Após a preparação do solo, iniciou-se o assentamento das pavimentações conforme a Figura 4 (C, D e E) e pôr fim a instalação do sistema hidráulico para simulação da vazão da chuva conforme figura 4 (F).

Figura 4: Processos de instalação



Após instalações finalizadas iniciaram-se os testes usando como parâmetro a NBR 16416, conforme Figura 5 (A, B e C).

Figura 5: Teste práticos



Foram realizados os testes de permeabilidade nos três tipos de pavimentação, realizando 3 testes, sendo eles com 50 litros, 70 litros e 90 litros de água.

4. RESULTADOS E ANÁLISES.

Para a pavimentação em paralelepípedos obtive-se os seguintes resultados nos testes práticos seguindo orientações da NBR 16416-2015 e com os dados obtidos foi aplicado na equação 1, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados dos testes práticos para pavimentação em paralelepípedos.

Data	Início (hr)	Litros (l)	Término	Segundos (seg)	Permeabili. (mm/h)	Vazão (m ³ /h)
10/11/2022	10:04	50	11:10	3960	57,87	0,0455
17/11/2022	08:37	70	10:10	5580	57,5	0,0452
24/11/2022	09:55	90	11:55	7200	57,3	0,0450
Média					57,56	0,0452

Para a pavimentação e blocos de concreto vazado, foram realizados os mesmos 3 testes, e obtive os seguintes resultados nos testes práticos seguindo orientações da NBR 16416-2015 e com os dados obtidos foi aplicado na equação 1, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos testes práticos para pavimentação em blocos de concreto vazado.

Data	Início (hr)	Litros (l)	Término	Segundos (seg)	Permeabili. (mm/h)	Vazão (m ³ /h)
11/11/2022	09:58	50	10:30	1920	119,37	0,0938
28/11/2022	09:15	70	10:00	2700	118,84	0,0933
25/11/2022	10:25	90	11:20	3480	118,54	0,0931
Média					118,92	0,0934

E por fim a pavimentação e pedrisco que também passou pelos mesmos 3 testes, e nos

retornou os seguintes resultados nos testes práticos seguindo orientações da NBR 16416-2015 e com os dados obtidos foi aplicado na equação 1, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos testes práticos para pavimentação em pedrisco.

Data	Início (hr)	Litros (l)	Término	Segundos (seg)	Permeabili. (mm/h)	Vazão (m ³ /h)
14/11/2022	09:15	50	9::46	1860	123,22	0,0968
21/11/2022	08:36	70	09:15	2340	137,12	0,1077
28/11/2022	09:49	90	10:38	2940	140,32	0,1102
Média					133,55	0,1049

Visando avaliar o grau de permeabilidade do pavimento, comparou-se os dados obtidos com os valores típicos de permeabilidade de solo, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação de permeabilidade.

Valores típicos de coeficiente de permeabilidade para solos		
Permeabilidade		k (m/s)
Pavimentos permeáveis	Muito alta	$> 10^{-3}$
	Alta	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	10^{-5} a 10^{-7}
Pavimentos impermeáveis	Muito baixa	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	$< 10^{-9}$

Fonte: ABNT, 2015.

Contudo, ressalta-se que o método utilizado para obtenção de tais parâmetros é baseado em ensaio laboratorial unidirecional feito com auxílio de parâmetros, diferentemente do ensaio em campo realizado nesta pesquisa. Nota-se pelos valores encontrados que o pavimento em pedriscos apresentou uma taxa de infiltração de 133,55mm/h convertido em m/h temos o seguinte resultado $3,69 \times 10^{-5}$. A pavimentação em blocos de concreto vazado apresentou uma taxa de permeabilidade de 118,2 mm/h convertido em m/h temos o seguinte resultado $3,28 \times 10^{-5}$. A pavimentação em paralelepípedos retornou uma taxa de permeabilidade de 57,56 mm/h convertido em m/h temos o seguinte resultado $1,58 \times 10^{-5}$, considerando os valores convertido de cada pavimentação podemos chegar a conclusão que todas tem uma alta taxa de permeabilidade conforme a Tabela 4. Vale lembrar que os testes foram feitos com os pavimentos recém-

construídos, estando livre de colmatção gerada ao longo do tempo, o que torna as condições de contorno favoráveis.

Para efeito de comparação com outros materiais usualmente adotados como pavimentação permeável, encontrou-se na literatura estudos realizados sobre a permeabilidade de blocos de concreto vazados (Rocha, Timoteo e Junior, 2017; Parra e Teixeira, 2015) e pavimentos em paralelepípedos (Ono, Balbo e Cargnin, 2017; Rocha, Timoteo e Junior, 2017). Em relação aos blocos de concreto vazado, Rocha, Timoteo e Junior (2017) apontam em seus resultados uma taxa de permeabilidade parecidas com a deste trabalho, referente as pavimentações em bloco de concreto vazado e paralelepípedos.

Nos gráficos 1, 2 e 3 segue a taxa de permeabilidade pela vazão, para cada tipo de pavimento.

Gráfico 1: Coeficiente de permeabilidade x Vazão em Paralelepípedos.

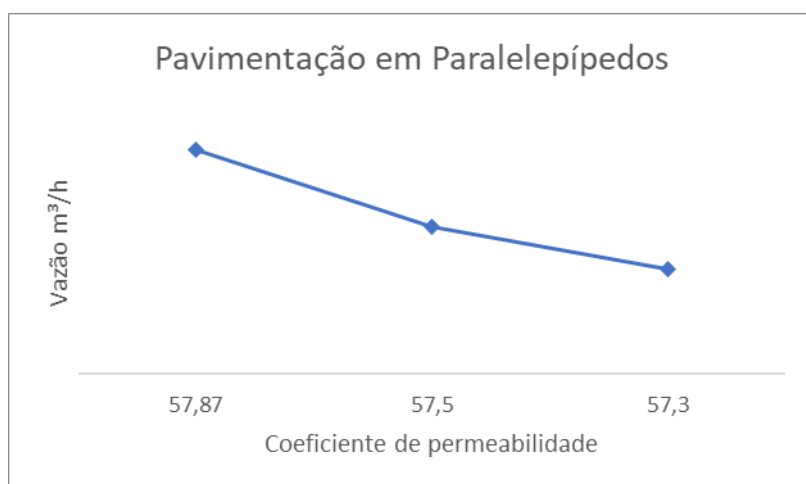


Gráfico 2: Coeficiente de permeabilidade x Vazão em Bloco de Concreto Vazado.

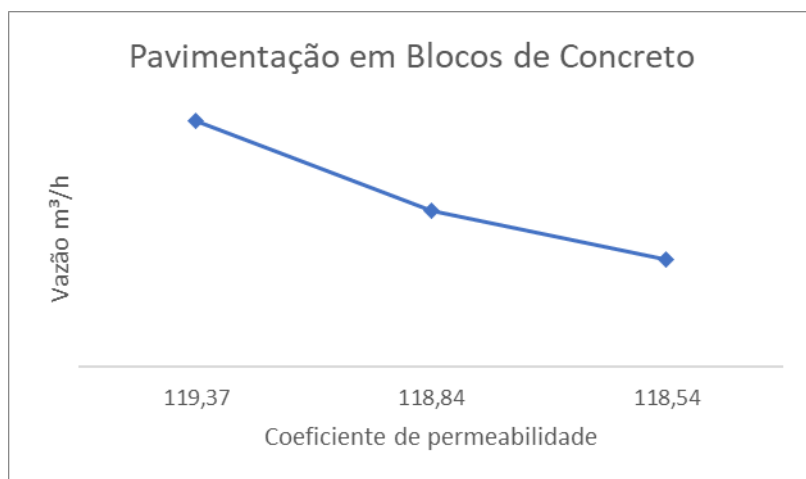
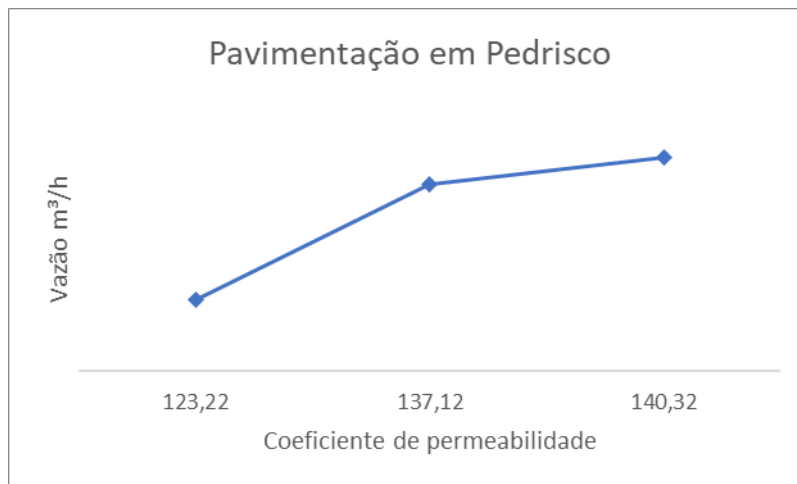


Gráfico 3: Coeficiente de permeabilidade x Vazão em Pedrisco.



5. CONCLUSÃO

A pavimentação em pedrisco mostrou-se uma pavimentação com uma alta taxa de permeabilidade.

O bloco concreto permeável mantém características de permeabilidade satisfatórias. Além de ser um material com variedade de composições estéticas o bloco de concreto permeável, tem capacidade térmica, que podem contribuir para a diminuição das chamadas ilhas de calor, ou seja, a pavimentação em bloco de concretos permeáveis é uma ótima opção. Devido a sua permeabilidade ser maior perante ao paralelepípedos se torna a opção mais adequado com base nos resultados obtidos nos estudos deste trabalho.

A pavimentação em paralelepípedos é, uma solução técnica viável que agrega muito a drenagem pluvial, tem-se uma taxa de permeabilidade adequada.

O uso em grande escala de qualquer uma destas pavimentações se torna viável, pois ele trará benefícios econômicos, minimizando os problemas gerados por alagamentos e enchentes, e ao meio ambiente ajudando na recuperação do lençol freático entre outros benefícios.

Nota-se que devido aos resultados serem semelhantes quando convertidos para m/h, pode-se concluir que foi obtido a taxa de permeabilidade do solo em vez da pavimentação devido o tipo de material da base influenciar diretamente no resultado deste trabalho, portanto, sugere-se para trabalhos futuros a realização de uma base mais espessa e com material mais graduado para que não haja retenção da água.

REFERÊNCIAS:

ACIOLI , A. ALBUQUERQUE. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE** . UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2005.

ARAÚJO, ASSILON J. **FUNDAMENTOS DE AGRONEGÓCIOS**. SÃO PAULO, 2007.

ARAUJO, P.R; TUCCI, C.E.M; GOLDENFUM, J.A. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**. SÃO PAULO, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO**. ABNT, 2015

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIP MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**. BRASIL, 2006.

FILHO, M. MARCELO; PEREIRA, T. D. YURI. **APLICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL: REVISÃO TEÓRICA**. UNIVERSIDADE BRASIL – CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, CAMPUS DESCALVADO, 2017.

GONZALEZ, CAROLINA. **PAVIMENTO RÍGIDO COMO ALTERNATIVA PARA PAVIMENTAÇÃO ESTUDO DE CASO: RUA PADRE DIONÍSIO DA CUNHA LAUDT – TUBARÃO/SC**. UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA – TUBARÃO, 2017.

MARCON, V. DOUGLAS; BORBA, E. LUIZ; ROBLOWSKI, MARCOS. **PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL, UMA SOLUÇÃO PARA DRENAGEM URBANA**. XI ENAPROC 21 E 22 DE OUTUBRO DE 2014

MOTA, E. et. AL. **PROJETO TÉCNICO: PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL**. SÃO PAULO, 2013.

PEREIRA, B. SILVIO; FIETZ, R. CARLOS; PEIXOTO, P. P. PAULA; SOBRINHO, A. TEODORICO; SANTOS, M. FABRÍCIO. **EQUAÇÃO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E**

FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PARA A REGIÃO DE DOURADOS, MS.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2017.

**RIGHES, AFRANIO; MAUS, VICTOR. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E
ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁGUA EM ÁREAS URBANAS. I SIMPÓSIO DE
RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE.**

**SUDERHSA. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA A BACIA DO RIO IGUAÇU
NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. PARANÁ, 2002.**

**VIRGILIIS, AFONSO LUÍS CORRÊA DE. PROCEDIMENTOS DE PROJETO E
EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS VISANDO RETENÇÃO E
AMORTECIMENTO DE PICOS DE CHEIAS. SÃO PAULO, 2009.**