

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

JOERVERTON DE JESUS OLIVEIRA

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO
DE CONCRETO**

**TEÓFILO OTONI
2018**

FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

JOVERTON DE JESUS OLIVEIRA

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO
DE CONCRETO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades Unificadas de
Teófilo Otoni, como requisito parcial
para a obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.**

**Orientador Prof. Marcos Túlio
Fernandes**

Área de concentração: Pavimentação.

TEÓFILO OTONI

2018



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto, elaborado pelo aluno Joeverton de Jesus de Oliveira, foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas Teófilo Otoni, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Teófilo Otoni, 11 de dezembro de 2018

Marcos Túlio Fernandes

Jouséberon Miguel da Silva

Pedro Raphael Azevedo Valcarce

*Dedico este trabalho aos meus pais,
que sempre me deram exemplos de vida e conduta.
Minha vida inteira se baseia em vocês.*

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de todas as coisas por ter me dado força durante esta caminhada.

Ao meu orientador, o professor Marcos Tulio, por ter me guiado sempre pelo caminho certo.

A professora Ruth por todo apoio e orientação nos ensaios.

A minha amiga Ingrid Andrade, na formatação do texto.

À minha mãe pelos momentos de consolo e incentivo.

*Dá ouvidos às minhas palavras, ó Senhor;
atende à minha meditação*

Salmos 5:1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de assentamento de blocos intertravados	13
Figura 2: Etapas da pavimentação.....	14
Figura 3: Estrutura do pavimento com bloco de concreto intertravado	15
Figura 4: Exemplo de peças de concreto tipo I	16
Figura 5: Exemplo de peças de concreto tipo II	16
Figura 6: Exemplo de peças de concreto tipo III	17
Figura 7: Exemplo de peças de concreto tipo IV	17
Figura 8: Infiltração.....	18
Figura 9: Área de estudo.....	24
Figura 10: Local do experimento.....	25
Figura 11: Preparação do solo	26
Figura 12: Pesagem e peneiramento do solo.....	26
Figura 13: Processo de sedimentação do solo.....	27
Figura 14: Processo de massa específica	28
Figura 15: Análise de liquidez do solo.....	29
Figura 16: Montagem do ensaio.....	31
Figura 17: Aplicação dos anéis concêntricos no solo.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados do ensaio de Limite de Liquidez.....	36
Tabela 2: Dados do ensaio 1 - Solo	Anexo A
Tabela 3: Dados do ensaio 2 - Solo	Anexo B
Tabela 4: Dados do ensaio 1 - Pavimento	Anexo C
Tabela 5: Dados do ensaio 2 - Pavimento	Anexo D
Tabela 6: Resultados dos ensaios	39
Tabela 7: Resultados dos ensaios	45
Tabela 8: Classificação do solo a partir da sua VIB	45

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte;

VI – Velocidade de Infiltração;

VIB – Velocidade de Infiltração Básica;

RESUMO

A existência de pavimentos que possibilitam a infiltração da água da chuva, pode colaborar para minimizar o escoamento superficial analisando a possibilidade de melhorias nas condições de infiltração, colaborando para reduzir o número de alagamentos de vias e a percolação da água no solo. O pavimento intertravado de concreto, apresenta características peculiares, dentre as quais, àquelas que o consideram como piso drenante. O presente trabalho tem como objetivo analisar a capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto, na área de eventos da Faculdade Unificada Doctum, localizada na cidade de Teófilo Otoni-MG. Inicialmente, foram realizados ensaios laboratoriais para caracterizar e classificar o solo do local de estudo. Com os resultados encontrados nos ensaios supracitados, foi possível classificar o solo do subleito e realizar o ensaio de infiltração seguido da norma de ensaio infiltrômetro de anéis concêntricos, método para determinação de coeficientes de permeabilidade em concreto permeável, no intuito de diagnosticar a capacidade de infiltração do pavimento intertravado e do solo, determinados na revisão bibliográfica e dizer se podem ser considerados como área de eficaz permeabilidade. No que tange a comparação entre as velocidades de infiltração básica (VIB), observa-se que no solo a média produzida pelos dois ensaios equivalente a 3,9cm h^{-0,4}, o que conjectura a VIB numa classificação muito alta, enquanto para os ensaios realizados no pavimento que produziu uma média de 2,8cm h^{-0,4} classificado como VIB alta. Quanto as condições de infiltração do pavimento sextavado, a abordagem apresentou velocidade de infiltração menos saliente devido menor índice de espaços vazios e menor seção de escoamento para a água. Diferentemente o solo apresentou melhor tais características devido maior índices de vazios e maior área de drenagem efetiva além de sua estrutura que é fisicamente mais drenante que a área de concreto do pavimento sextavado.

Palavras-chave: Pavimento Intertravado. Drenagem Urbana. Infiltrômetro.

ABSTRACT

The existence of pavements that allow the infiltration of rainwater can collaborate to minimize the surface runoff by analyzing the possibility of improvements in the traffic infiltration conditions, collaborating to reduce the number of flooding and the percolation of water in the soil. The concrete interlocking pavement presents peculiar characteristics, among which, to those that consider it as a draining floor. The present work has the objective of analyzing the infiltration capacity of concrete interlocking pavement in the Unified Doctum Faculty area, located in the city of Teofilo Otoni-MG. Initially, laboratory tests were carried out to characterize and classify the soil of the study site. With the results found in the aforementioned tests, it was possible to classify the soil of the subgrade and perform the infiltration test followed by the standard concentric ring infiltrator test, method for determination of permeability coefficients in permeable concrete, in order to diagnose the infiltration capacity of the interlocked floor and of the soil, determined in the bibliographic review and say if they can be considered as an area of effective permeability. Concerning the comparison between VIB, it is observed that in the soil the mean produced by the two tests equivalent to $3,9\text{cm } h-0,4$, which conjectures the VIB in a very high classification, while for the tests carried out on the pavement that produced an average of $2.8\text{cm } h-0.4$ rated as high VIB. Regarding the infiltration conditions of the hexagonal pavement, the approach showed less infiltration velocity due to lower voids index and lower water flow section. Differently, the soil presented better characteristics due to higher void indices and greater effective drainage area besides its structure that is physically more draining than the concrete area of the hexagonal pavement.

Key words: Interlocked floor. Urban drainage. infiltration.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 REFERENCIAL TEORICO.....	11
2.1 Pavimentação.....	11
2.1.1 Pavimento intertravado.....	12
2.1.2 Processo de fabricação.....	15
2.3 PERMEABILIDADE DO PAVIMENTO.....	19
2.3.1 Fatores que interferem na permeabilidade do pavimento.....	20
2.4 Ensaio Infiltrômetro de anel.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Classificação da Pesquisa Quanto os Fins.....	23
3.2 Classificação da Pesquisa Quanto os Meios.....	23
3.3 Tratamento de Dados.....	24
3.4 Ensaio de Caracterização.....	25
3.4.1 Ensaio de granulometria.....	25
3.4.2 Massa específica dos sólidos.....	27
3.4.3 Limites de Atterberg.....	28
3.4.3.1 <i>Limite de liquidez.....</i>	<i>29</i>
3.4.3.2 <i>Limite de plasticidade.....</i>	<i>30</i>
3.5 Ensaio de Infiltrômetro de Anéis concêntricos.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Resultados de Caracterização do solo.....	35
4.1.1 Resultados dos Ensaio de Granulometria do Solo.....	35
4.1.2 Limites de Atterberg.....	35
4.2 Resultado Ensaio de Infiltrômetro de anéis concêntricos.....	36
4.2.1 Resultado dos ensaios de infiltração no solo.....	36
4.2.2 Resultado dos ensaios de infiltração no pavimento.....	41
4.2.3 Comparação dos resultados dos ensaios de infiltração.....	45
5 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	49
ANEXOS.....	55

1 INTRODUÇÃO

As vias de tráfego devem proporcionar a fluidez do trânsito e garantir uma infraestrutura pública eficiente. A finalidade da pavimentação é propiciar um tráfego confortável e seguro, com estruturas e materiais capazes de suportar os esforços decorrentes da ação do tráfego combinados com as condições climáticas, buscando o menor custo possível e garantindo, assim, um bom desempenho no que se refere à economia dos gastos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviço de infraestrutura (GONÇALVES, 1999; BALBO, 2007). O pavimento a ser adotado vem acompanhado de vários parâmetros técnicos que precisam ser analisados para melhor aplicação do mesmo.

Nos grandes centros, devido ao elevado índice de ocupação do solo, a área urbana tem cada vez mais suas superfícies impermeabilizadas. A proposta da utilização de pavimentos com capacidade drenante, consolida a importância do objetivo deste estudo, buscando minimizar os efeitos desta impermeabilização e analisar a capacidade de infiltração nas ruas pavimentadas com blocos de concreto intertravados. Tucci (2009) define drenagem urbana como um conjunto de medidas capazes de diminuir os danos causados às populações por enchentes. Estas medidas vão desde o planejamento do uso e ocupação do solo, à construção de obras específicas para a drenagem. Cita ainda que a urbanização é a que mais interfere na drenagem urbana, pois altera diretamente o escoamento superficial da água. Deste modo, é evidente que o escoamento tem níveis maiores devido à impermeabilização do meio urbano, o que mostra a importância de áreas de infiltração que colaboram significativamente na dissipação da água da chuva.

Neste cenário, a drenagem e a mobilidade urbana são temas atuais no planejamento e desenvolvimento das cidades, com isso a necessidade de preservar o meio ambiente e a busca por novos meios tecnológicos de aplicação, são fatores que podem aperfeiçoar a pavimentação e diminuir os impactos causados pela infraestrutura de estradas.

Portanto neste trabalho executou-se ensaios com infiltrômetro de anéis concêntricos no solo e pavimento intertravado, visando analisar a capacidade de infiltração do pavimento. Os ensaios foram executados na área de eventos da Faculdade unificada de Teófilo Otoni, no intuito de diagnosticar a capacidade e

velocidade de infiltração do pavimento sextavado e se podem ser considerados como área de eficaz permeabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimentação

Segundo Santana (1993), pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, isto é, com a máxima qualidade e o menor custo possível, oferecendo um tráfego confortável e seguro, sendo construído com materiais que apresentam elevado grau de resistência capazes de suportar as ações climáticas e esforços das vias.

Os pavimentos são formados por camadas de vários materiais com diferentes características de resistência e deformabilidade. As camadas que constituem os pavimentos são basicamente: subleito, reforço de subleito, se necessário, sub-base, base e revestimento (AUGUSTO, 1992).

Tradicionalmente, classifica-se a pavimentação em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. O pavimento rígido é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado, enquanto os pavimentos flexíveis sofrem deformação elástica significativa em todas as camadas, sob o carregamento do tráfego aplicado (DNIT, 2006).

Segundo Goldner (2008), o tráfego é composto por diferentes tipos de veículos que vão desde automóveis à caminhões, ônibus, motos entre outros. O volume de tráfego varia em função do número de veículos que passam numa determinada faixa da via em uma unidade de tempo, podendo variar ao longo do ano, da semana, do dia ou dentro da hora. Para cada tipo de pavimentação é realizado um estudo da carga aplicada pelo tráfego, fazendo com que o pavimento não apresente, no decorrer de sua vida útil, diversas manifestações e defeitos, relacionados não somente com os tipos de materiais empregados, mas também com a resposta mecânica da estrutura em questão. A partir daí, conforme observa Balbo (2007), não só os tipos de materiais, mas também, o comportamento estrutural do pavimento, fornecem, em conjunto, informações úteis aos engenheiros, para que eles entendam os problemas técnicos da pavimentação e as mais adequadas formas de manutenção.

A estrutura do pavimento é gerada, em seu sentido estrutural, para receber e transmitir esforços, além de aliviar as pressões sobre as camadas inferiores que

geralmente são menos resistentes. Portanto, a pavimentação é uma estrutura de múltiplas camadas construída sobre a terraplenagem e destinada, técnica e economicamente, a resistir aos esforços provocados pelo tráfego (BALBO, 2007).

2.1.1 Pavimento intertravado

A pavimentação com blocos intertravados pode ser considerada de uso comum em alguns lugares do mundo. Conforme Madrid (2004), na África do Sul utiliza-se esse sistema na pavimentação de avenidas, além de corredores de tráfegos urbanos desde a década de 1980. Já na década de 1990, o país pavimentou trechos de algumas rodovias com pavimento intertravado, que o tornou pioneiro nesse modelo de construção. Esse sistema de pavimentação é uma evolução dos antigos calçamentos feitos com paralelepípedo ou pedra tosca, que aos poucos conquistaram espaço em todo o mundo, apresentando vantagens na facilidade de assentamento, acessibilidade as redes subterrâneas, praticidade na manutenção, além de colaborar com a sustentabilidade do planeta.

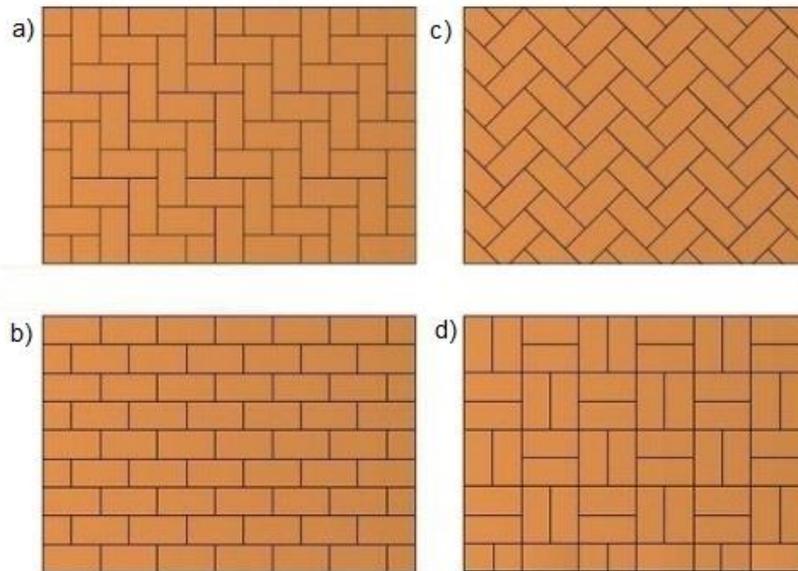
O pavimento intertravado, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010) é considerado antiderrapante, resultando em maior segurança principalmente quando comparados a outros tipos de pavimentação. Os blocos de concreto são blocos intertravados, pré-fabricados, maciços e que permitem pavimentar completamente uma superfície, possuindo espaços entre eles que permitem a percolação da água no solo.

Peças de Concreto para Pavimentação Especificação e métodos de ensaio estabelecidas pela norma NBR 9.781 (2013) enfatiza que ao ser empregado no pavimento, classifica-se as peças de concreto, definindo todas as características para melhor aproveitamento, as dimensões de cada forma, a resistência a compressão e espessura necessária para cada situação, além de diversos pontos relevantes que precisam ser adotados na aplicação do mesmo.

Conforme apresentado na Figura 1 a seguir são quatro os modelos tradicionais holandeses de assentamento de pavimento intertravado retangulares, dos quais:

- a) Arranjo tipo espinha de peixe;
- b) Arranjo tipo fileira;
- c) Arranjo tipo espinha de peixe 45°;
- d) Arranjo tipo trama.

Figura 1 - Tipos de assentamento de blocos intertravados



Fonte: VIPAVER (2017).

Segundo Cruz (2003) não existe consenso entre os pesquisadores se há influência do formato das peças sobre a durabilidade do pavimento intertravado, porém, concorda-se que o arranjo tem influência no desempenho dos pavimentos, pois o sentido do tráfego veicular é peça decisiva no estudo da tendência de deslocamentos desses blocos, evitando que o intertravamento não apresente problemas futuros.

O intertravamento é a capacidade que o material tem de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes, impedindo que as peças aplicadas sejam removidas com facilidade (FIORITI, 2007).

A norma técnica NBR 9781 (2013) - Peças de Concreto para Pavimentação Especificação e métodos de ensaio, divide os blocos em duas classes de resistência: 35 MPa e 50 MPa. As peças mais encontradas no mercado são as de 35 MPa, usadas em vias de tráfego leve, médio e pesado. Os blocos de 50 MPa são indicados para aplicações especiais em que o piso sofre muito desgaste por atrito, no caso de pátios de indústrias, portos, aterros de resíduos, aeroportos e etc.

De acordo com o Manual de Pavimento Intertravado elaborado pela ABCP (2010), para a execução do pavimento intertravado é preciso realizar um estudo do solo no qual será instaurado o pavimento. Dentro desse estudo, que deve ser realizado, existem parâmetros técnicos que precisam ser adotados e executados

corretamente. Uma execução adequada exige uma adequação para normalizar o solo, processo de drenagem, terraplanagem, contenções laterais, compactação do solo e um nivelamento correto para a aplicação das peças de concreto.

Como pode ser visto na figura 2 as etapas da pavimentação do bloco intertravado estão relacionadas a um acabamento correto da execução do subleito no qual é realizado a adequação, compactação e a instalação de redes subterrâneas, o segundo passo é espalhamento e compactação da base, logo em seguida é aplicado a área de assentamento e os blocos de concreto, finalizando com a compactação e abertura do trafego.

Figura 2- Etapas da pavimentação



Fonte: ABCP (2010).

Conforme a NBR 15953 (2011) - Pavimento Intertravado com Peça de Concreto – Execução, a execução de um pavimento intertravado com blocos de concreto deve seguir os principais parâmetros da execução; a base do pavimento que está destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos e tem como função principal proteger estruturalmente o subleito das cargas externas; a sub-base camada complementar da base; subleito classificado como estrutura final de terraplenagem sobre a qual será executado o pavimento e por fim o leito, superfície obtida pela terraplanagem, estrutura conformada ao seu grade e perfis transversais.

Na figura 3 podem ser analisados os tipos e camadas de estrutura do pavimento intertravado de concreto.

Figura 3 - Estrutura do pavimento com bloco de concreto intertravado.



Fonte: ABCP (2001)

O pavimento intertravado é considerado um pavimento flexível onde todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas sob o carregamento aplicado.

2.1.2 Processo de Fabricação

Para a fabricação de blocos intertravados de concreto são utilizados materiais como cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos e água, geralmente são utilizados adições minerais e aditivos químicos. O concreto utilizado nas peças deve ser constituído de cimento Portland, o cimento pode ser de qualquer tipo e classe, devendo obedecer às seguintes normas brasileiras que rege e define qual estrutura e os materiais a serem empregados. Os agregados podem ser naturais, industriais ou reciclados, obedecendo à NBR 7211 (2009) - Agregados para concreto Especificação.

Conforme Pettermann (2006) o cimento influencia muito na resistência mecânica, porém as regulagens, o tipo de equipamento utilizado e as formas de vibração, também são importantes e tem influência na resistência dos blocos intertravados de concreto. É preciso analisar qual tipo de tráfego será pavimentado e adotar medidas que serão satisfatórias na vida útil do pavimento.

Em relação ao conforto térmico, a ABCP (2008) afirma que: A coloração mais clara das peças de concreto, em relação aos demais tipos de produtos, reduz a absorção de calor na superfície do pavimento, melhorando o conforto térmico e diminuindo a formação das ilhas de calor nos centros urbanos, causados pela impermeabilidade do solo e uso de pavimentos escuros.

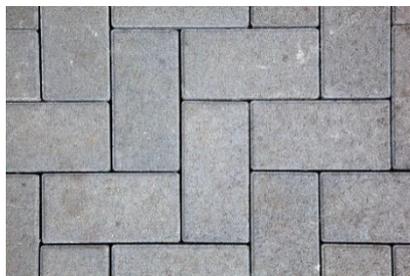
Além do conforto térmico, o pavimento é capaz de controlar a reflexão da luz devido a coloração clara dos blocos. Sendo assim o pavimento é constituído por peças de concreto produzidas industrialmente através de processos mecânicos, garantindo um baixo custo, uma qualidade controlada e um alto desempenho mecânico. Devidamente assentados e compactados formam uma pavimentação intertravada.

2.1.3 Formato das peças

De acordo com a NBR 9781 (2013) - Peças de concreto para pavimentação os formatos da pavimentação intertravada são classificadas como:

Tipo I - Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras, 45° ou em espinha de peixe. Conhecidos como blocos retangulares e 16 faces. Ilustrado na figura 4.

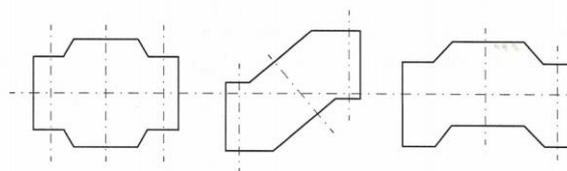
Figura 4 - Exemplo de peças de concreto do tipo I



Fonte: Hackman (2001)

Tipo II- Peças de concreto com formato único, diferente do retangular que só podem ser assentadas em fileiras. Apresentados na figura 5.

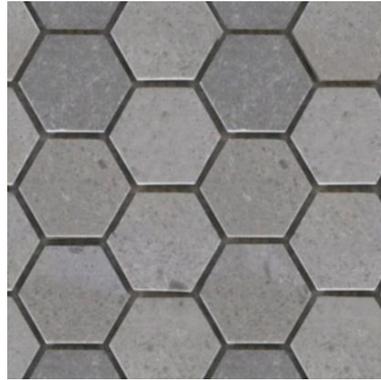
Figura 5 - Exemplos de peças de concreto do tipo II



Fonte: NBR-9781 (ABNT, 2013)

Tipo III- Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros, conhecidas como blocos sextavados, com pesos superiores a 4 kg. Conforme pode ser observado na figura 6.

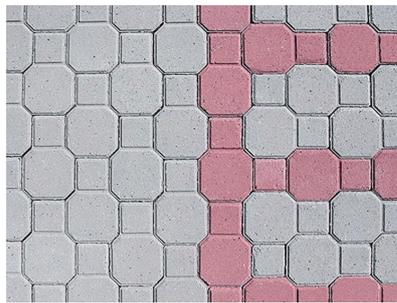
Figura 6 - Exemplo de peças de concreto do tipo III



Fonte: Supercon (2010)

Tipo IV- Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento. Conhecidos como blocos raquete, dispostas abaixo na figura 7.

Figura 7 - Exemplo de peças de concreto do tipo IV



Fonte: Supercon (2010)

2.2 Infiltração

De acordo com Goldin *et al*, (2010) a infiltração da água no solo é um processo de penetração vertical da água através da superfície do solo. É de fundamental importância realizar uma análise dessa taxa de infiltração, e se possível, através dessas análises definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem.

Quando o processo inicia-se no solo seco, a infiltração da água é elevada, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado. A taxa de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido por taxa de infiltração básica ou velocidade de infiltração básica. Alves *et al*, (2003). Fazendo com que a camada superior do solo atinge um elevado

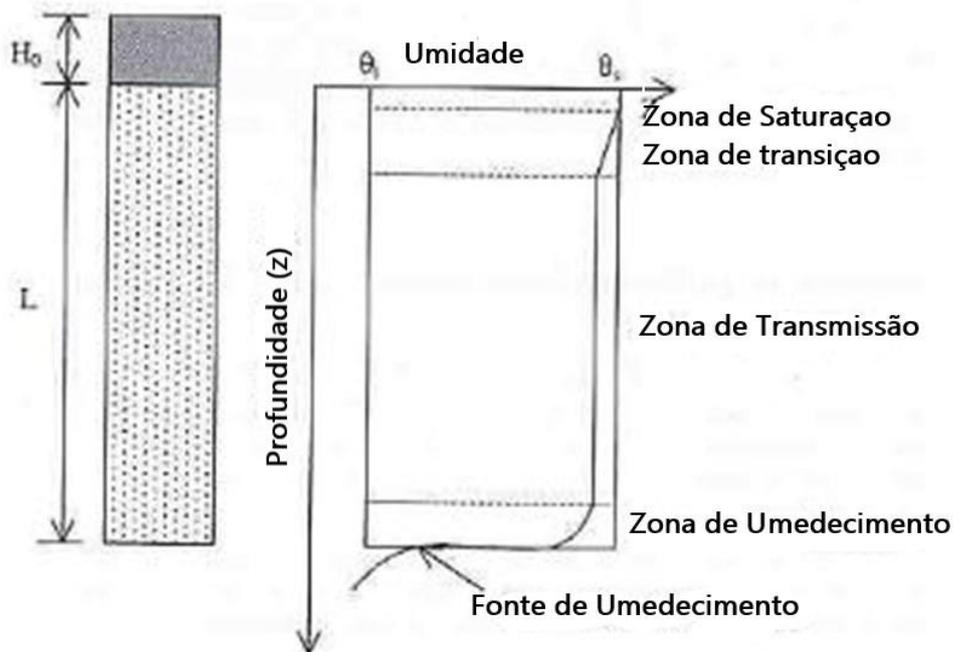
teor de humidade e a camada inferior, possuindo um baixo teor, dando início ao processo de redistribuição provocando o umedecimento das camadas inferiores do solo constantemente.

Segundo Fagundes *et al.*, (2012), alguns métodos de campo têm sido utilizados para determinar a velocidade de infiltração de um solo, dentre eles pode-se destacar o método do infiltrômetro de anel, por ser simples e de fácil execução.

2.2.1 Processo de infiltração da água no solo

Conforme Fonseca e Duarte (2006) o perfil típico de umidade do solo, durante a infiltração da água é atingir a zona de saturação responsável pela camada superior do leito, a zona de transição, zona de transmissão, zona de umedecimento e Frente de umedecimento que compreende uma pequena região na qual existe um grande gradiente hidráulico, havendo uma variação bastante repentina da umidade. A frente de umedecimento representa o limite visível da movimentação de água no solo, conforme na Figura 8.

Figura 8 - Infiltração



Fonte: Carvalho (2006)

2.2.2 Drenagem Urbana

Além do relevante papel dos dispositivos de drenagem, existem dispositivos que auxiliam no controle de situações de fluxo superficial ocasionados pela água, dentre eles, o uso de um pavimento que possibilite infiltração da água no solo. Segundo Tucci (2006), os projetos de drenagem urbana utilizam como base o falso princípio da transferência do excedente de água pluvial para um local mais afastado do seu ponto de origem, de maneira mais rápida possível.

Conforme Gonçalves, (2009) a drenagem urbana tem sido projetada pelos engenheiros com o princípio de escoar a água de precipitações em um período curto de tempo, dos pontos altos para os fundos de vale. Este tipo de solução transfere a problemática da inundação de um ponto para o outro.

A busca por novas tecnologias que favorecem a infiltração e a redução do escoamento superficial tem obtido ênfase no cenário urbano, um exemplo deste tipo de abordagem é o uso de pavimentos permeáveis. Estes pavimentos são capazes de reduzir o volume do escoamento superficial em comparação aos pavimentos convencionais, privilegiando a infiltração e a retenção da água no subsolo. Portanto a existência de aplicação de blocos intertravados de concreto pode ter parcela significativa na percolação da água no solo, diminuindo assim o escoamento superficial e o acúmulo de água da chuva que resultará em inundações futuras nos períodos constantes.

2.3 Permeabilidade do pavimento.

A permeabilidade do solo pode ser verificada pela NBR 13292 (1995) - Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante Método de ensaio ou NBR 14545 (2000)- Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável, analisando o grau de permeabilidade que o solo apresenta e se possível levantar soluções para a problemática.

Conforme Motta, (2005) a permeabilidade pode ser descrita como a capacidade de um meio poroso em permitir a passagem de um líquido qualquer (água, óleo, etc). No caso de pavimentos, o meio poroso a ser considerado pode se referir à camada de revestimento ou a uma das camadas constituintes (base, sub-base, etc.), chamada

de camada drenante, além de existir espaços vazios entre as juntas, onde toda a estrutura do pavimento tem por objetivo escoar a água da superfície podendo ser chamado de pavimento drenante, pois o mesmo colabora com o escoamento superficial e mobilidade urbana das vias.

2.3.1 Fatores que interferem na permeabilidade do pavimento.

Conforme a cartilha do Pavimento intertravado permeável da ABCP (2011), quanto mais baixo o coeficiente de permeabilidade, menos permeável é o solo. Essa capacidade pode ser estimada considerando a porcentagem de juntas no pavimento permeável e o coeficiente de permeabilidade do agregado. Dessa forma evita-se que a água permaneça muito tempo na superfície do pavimento podendo ocasionar perdas na estrutura.

Desde o início da utilização dos pavimentos de blocos de concreto, na década de 1970, buscou-se a maior estanqueidade possível para este tipo de pavimento, de modo que ele se tornasse aceitável na tecnologia tradicional de pavimentação. Sendo assim, alguns fatores propiciam a um pavimento intertravado razões que interferem na permeabilidade do pavimento.

Os blocos são fabricados com concretos mais densos e granulometrias contínuas, ou seja, com menores índices de vazios que interfere a percolação da água.

As juntas são as menores possíveis e totalmente preenchidas com areia de selagem de granulometrias fechadas, de modo a garantir o maior nível de intertravamento dos blocos, reduzindo a permeabilidade entre os espaços vazios, além dos selantes superficiais para os blocos e estabilizantes para a areia de rejuntamento que contribuem com a situação do escoamento da água no solo. A permeabilidade de um pavimento de blocos de concreto aumenta com sua idade e se reduz até chegar a níveis muito baixos ao longo dos primeiros 15 anos de serviço, portanto é preciso ser projetado e construído adequadamente, assim sua permeabilidade poder vir a ser satisfatória e duradoura.

Outro fator importante é a colmatação, que segundo Virgiliis (2009), em zonas urbanas é função de fatores locais, como a variedade e a quantidade de material pulverulento depositado nas juntas. O tráfego também interfere na colmatação, visto que, onde existe tráfego intenso, há uma sucção provocada pela passagem de

veículos, que tende a descolmatar os vazios. Fazendo com que o pavimento apresente alto nível de permeabilidade entre as juntas.

2.4 Ensaio Infiltrômetro de anel

Conforme Fonseca e Duarte (2006) o ensaio do infiltrômetro de anel consiste basicamente de dois cilindros concêntricos e um dispositivo de medir volumes da água reduzida ao cilindro interno. Os cilindros apresentam 25 e 50 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura, e devem ser instalados concentricamente e cravados 15 cm no solo. Para isso, as bordas inferiores devem ser em bisel a fim de facilitar a penetração no solo.

A água é colocada, ao mesmo tempo nos dois anéis e, com uma régua graduada, faz-se a leitura da lâmina d'água no cilindro interno ou anota-se o volume de água colocado no anel, com intervalos de tempo pré-determinados. A diferença de leitura entre dois intervalos de tempo representa a infiltração vertical neste período

Quando não se dispuser do cilindro externo, pode-se fazer uma bacia em volta do cilindro menor e mantê-la cheia de água enquanto durar o teste. A finalidade do anel externo ou da bacia é evitar que a água do anel interno infiltre lateralmente, mascarando o resultado do teste. A altura da lâmina d'água nos dois anéis deve ser de 15 cm, permitindo-se uma variação máxima de 2 cm. No início do teste, essa altura pode influenciar nos resultados, entretanto, com o decorrer do tempo, ela passa a não ter efeito.

O teste termina quando o Tempo de Infiltração (TI) permanecer constante. Na prática, considera-se que isto ocorra quando TI variar menos que 10% no período de 1 hora.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da Pesquisa Quanto aos Fins

Para Mattar (2001), a pesquisa quali-quantitativa busca a validação das hipóteses mediante a utilização de dados estruturados, estatísticos, com análise de casos representativos, recomendando um curso final da ação. Ela quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados.

Essa análise define que a abordagem do problema é quantitativa, uma vez que tem por analisar os parâmetros técnicos de um pavimento, de modo a identificar o comportamento e suas reações, levando em conta os quesitos de permeabilidade, execução e contribuição para drenagem urbana.

Segundo Gil, (1991) as pesquisas qualitativas visa conhecer as características de uma determinada população, fenômeno ou estabelecimento de relações entre variáveis, envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados e observação sistemática.

3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios

Esse trabalho é caracterizado como uma pesquisa experimental. Segundo Yin (2001) é encarado como o delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno ocasionado para avaliação técnica do seu comportamento, com enfoque no caráter subjetivo da dinâmica do processo de infiltração da água no pavimento intertravado e do solo onde foi executado, utilizando como base de dados: artigos científicos, dissertação, teses, manuais, livros de doutrinadores renomados, normas específicas sobre o tema, além do ensaio de caracterização do solo e o teste de infiltrômetro com anéis concêntricos, coletando todos os dados obtidos para analisar a classificação da capacidade de infiltração que o solo ou pavimento oferece e dizer se podem ser considerados como área de eficaz em termos de permeabilidade, abordando os principais conceitos sobre pavimentação, confrontando as informações obtidas para que se possa chegar a respostas coerentes sobre a problemática da análise.

3.3 Caracterização do Local da Pesquisa

O local do experimento para analisar a capacidade de infiltração do pavimento intertravado foi realizado na área de eventos da Faculdade Unificada de Teófilo Otoni, situada na cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais. O tráfego da área é considerado leve, pois não há acesso rotineiro de veículos pesados, apenas de estudantes e trabalhadores da rede. Foi executado um levantamento para determinação das exatas dimensões do local que possui 220 m², constituído de bloco de concreto intertravado (sextavados). Imagens da área podem ser vistas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Área de estudo



Fonte: Google Earth (2018).

Figura 10 – Local do experimento.



Fonte: Autor (2018).

3.4 Ensaios de Caracterização

Para a caracterização dos solos presentes na área de estudo foram realizados os seguintes ensaios:

- Ensaio de granulometria por sedimentação e peneiramento conforme NBR 7181 (1986);
- Ensaio de massa específica dos sólidos conforme NBR 6508 (1984);
- Limites de Atterberg dividido nos ensaios de Limite de Plasticidade conforme NBR 7180 (2016), e ensaio do Limite de Liquidez conforme NBR 6459 (1984);
- Ensaio com infiltrômetro de anéis concêntricos conforme metodologia empregada por Bernardo *et. al*, (2006).

3.4.1 Ensaios de Granulometria

O ensaio de granulometria do solo é o processo utilizado para determinar a forma como é distribuído o diâmetro das partículas componentes do mesmo. A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário. Nesse trabalho foram realizados

dois procedimentos peneiramento e análise granulométrica por sedimentação, conforme a norma NBR 7181 (1986).

Para realizar a coleta do solo, que será utilizado na realização dos ensaios, foi escavado 30 cm de profundidade do solo onde o pavimento foi aplicado, retirando 4kg de amostra para executar os procedimentos e definir a origem do solo local. Destes foi retirado 1000g do solo seco ao ar após desmanche dos torrões e quarteamento do solo para dar sequência ao peneiramento fino.

O solo foi peneirado na malha #10 (2,00 mm) e malha #200 (0,075 mm), lavando-o e em seguida colocando-o na estufa no período de 24 horas. No momento de preparação da amostra, empilham-se as peneiras de malha #10 e malha #200, colocando o material seco no conjunto de peneiras e realizando peneiramento através do conjunto mecânico, encontrando a fração do solo retida em cada peneira. Conforme a sequência de Figuras 11 e 12 abaixo, podemos observar o procedimento experimental de granulometria do solo.

Figura 11 – Preparação do solo.



Fonte: Autor.

Figura 12 – Pesagem e peneiramento do solo.



Fonte: Autor.

Para a realização do ensaio de sedimentação retirou-se cerca de 120 g do material que passa na peneira de malha #10 (2,00 mm).

Colocou-se a amostra de solo em “banho” de (6 a 24 horas) com desfloculante (solução de hexametáfosfato de sódio); agitando a mistura no dispersor elétrico por 5 a 15 minutos; logo após foi transferido a mistura para a proveta graduada, completando com água destilada até 1000 ml agitando a mistura para homogeneização do líquido. As leituras foram efetuadas leituras no densímetro nos instantes de 30 segundos, 1, 2, 4, 8,15, 30 minutos e em 1, 2, 4,8 e 24 horas. Conforme a sequência de figuras abaixo.

Figura 13 – Processo de sedimentação do solo.



Fonte: Autor.

3.4.2 Massa Específica dos Sólidos

No que tange a identificação da massa específica dos sólidos provenientes da relação de sua massa total acompanhada de vazios e água, sua obtenção é necessária para o cálculo do ensaio de sedimentação e a determinação do índice de vazios e demais índices físicos do solo, definindo a massa específica real das partículas do solo.

O ensaio se fundamenta em determinar a massa específica dos grãos de solo com a utilização de um picnômetro com embasamento na NBR 6508 (1984).

Para a confecção do ensaio foi retirado 120g do solo seco ao ar livre, homogeneizado passante na peneira de 4,8mm, sequencialmente a amostra foi transferida para o picnômetro com o auxílio de um funil, onde foi adicionada água destilada até cerca de metade do volume do picnômetro e levado ao fogareiro até período de fervura da amostra para eliminação dos espaços vazios, feito este

procedimento é acrescentada novamente a água destilada até cerca de 1cm abaixo da base do gargalo e posterior aferição da temperatura do sistema com termômetro para seguir com pesagem do mesmo.

Figura 14 – Processo de massa específica do solo



Fonte: Autor.

Com posse de todos os pesos, aplica-se a Equação 1 para a determinação da massa específica real do solo.

$$\delta = \frac{M_1 \times 100 / (100 + h)}{[M_1 \times 100 / (100 + h)] + M_3 - M_2} \times \delta_T \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- δ = Massa específica dos grãos de solo, em g/cm³;
- M_1 = Massa do solo úmido;
- M_2 = Massa do picnômetro + solo + água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio;
- M_3 = Massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio;
- h = Umidade inicial da amostra;
- δ_T = Massa específica da água, na temperatura T de ensaio.

3.4.3 Limites de Atterberg

Os solos podem ser classificados em grupos. Os limites de consistência foram estabelecidos por Atterberg no ano de 1908, para caracterizar as mudanças entre o estado de consistência. Mais tarde Casagrande adaptou para a mecânica dos solos o

procedimento proposto por Atterberg, para descrever a consistência de solos com grãos finos e teor de umidade variável. Tiscovski, (2009). Dessa forma através das análises, dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semi-sólido, plástico e líquido.

3.4.3.1 Limite de liquidez

Este ensaio é padronizado pela NBR 6459 (1984), definindo como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico; é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. Experimentalmente corresponde ao teor de umidade com que o solo feche certa rachadura sob o impacto de golpes do aparelho de Casagrande.

Para realizar o ensaio de limite de liquidez foi separada uma porção de 60g de solo passante na peneira com abertura de 0,425mm (peneira n.º 40), este material foi colocado em um recipiente e em seguida foi acrescentado e uma certa quantidade de água até a mistura ficar homogênea, após foi colocado uma parcela do material no aparelho de Casagrande, ocupando aproximadamente 2/3 da superfície da concha, com o cinzel foi feito a canelura e posteriormente foi golpeado através da manivela, com velocidade de duas voltas por segundo, até as duas bordas se encontrarem. No local onde as bordas se encontraram, foi retirada uma amostra do solo, colocado no recipiente, pesado e em seguida levado para a estufa, por 24 horas com temperatura entre 105º e 110º C para determinar a umidade. De acordo com a Figura 15 abaixo podemos analisar a sequência do processo experimental de liquidez do solo.

Figura 15- Análise de liquidez do solo



Fonte: Autor.

3.4.3.2 Limites de Plasticidades

O procedimento adotado para obtenção do limite de plasticidade foi embasado na NBR 7180: (ABNT, 2016) a qual análise do limite de plasticidade refere-se apenas para o material passante na peneira nº40.

O limite de plasticidade pode ser interpretado como a quantidade de água necessária para que o solo deixe de apresentar o comportamento semissólido e passe a ter comportamento plástico, mais explicitamente é definido como o teor de umidade necessário para que um cilindro formado pelo solo comece a se fragmentar apresentando fissuras, moldado com 3mm de diâmetro e cerca de 10cm de comprimento. Após a pesagem em um recipiente adequado determina-se a umidade pela Equação 2 a seguir.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

- h = Teor de umidade;
- Ph = Peso do material úmido;
- Ps = Peso do material seco em estufa.

3.5 Ensaio com o Infiltrômetro de anéis concêntricos

Os materiais utilizados para essa análise foram: dois tubos de chapa de zinco com diâmetro de 25 e 50 centímetros, massa de calafetar, veda calha, cronometro, régua, balde, guarda-chuva para não haver interferência do sol durante a análise e um suporte de madeira para posicionar a régua ao aferir a altura da lamina d' água.

Após a instalação dos anéis vedados sobre o pavimento intertravado com característica de blocos sextavados aproximadamente 30 centímetros de altura.

A finalidade do anel externo é amenizar o efeito da dispersão lateral da água infiltrada no anel interno, neste contexto a água confinada no anel interno infiltra no solo predominantemente na direção vertical, evitando reflexos superestimados da taxa de infiltração acompanhados por uma régua graduada com aferição nos seguintes intervalos: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 minutos, e se preciso

prossegue-se as leituras em intervalos de 1 hora até manter-se a vazão constante. A Figura 16 abaixo ilustra o a montagem do ensaio.

Figura 16 – Montagem do ensaio.



Fonte: Autor

Com intuito de diagnosticar a capacidade de infiltração do pavimento, verificou-se a capacidade de infiltração do solo, onde o mesmo ensaio foi aplicado.

Para a realização deste ensaio foi necessário escavar 20 centímetros de profundidade do solo ao lado onde o pavimento foi aplicado, nivelando uma pequena área para garantir que a lâmina d'água seja a mesma em qualquer ponto do cilindro interno e externo, após esta etapa de nivelamento é feita a cravação do cilindro interno de 25 cm e depois do cilindro externo de 50 cm. A Figura 17 mostra a montagem do ensaio.

Figura 17 – Aplicação dos anéis concêntricos no solo.



Fonte: Autor.

Após a instalação dos anéis cravados no solo aproximadamente 15 centímetros de sua altura, acompanhou-se a infiltração vertical no anel interno, com o auxílio de uma régua graduada e fez-se as leituras dos níveis de água no cilindro interno nos intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 min, e se for preciso, prosseguiu-se as leituras em intervalos de 1 hora até manter-se a vazão constante.

Com o auxílio dos dados obtidos em campo foi possível aferir a infiltração através da Equação 3.

$$I = C \cdot T^n \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

- I = Infiltração acumulada (cm);
- C = Constante que evidencia lâmina infiltrada no primeiro minuto;
- T = tempo transcorrido para infiltrar a lâmina de água (min);
- n = declividade da reta, determinada no local para cada tipo de solo, que varia de 0 a 1.

A velocidade de infiltração instantânea pode ser definida pelas seguintes Equações 4 e 5.

$$VI = n \cdot C \cdot T^{n-1} \quad \text{Equação (4)}$$

Seguidamente, ao adotar n.C pelo valor K.

$$VI = 60. K. T^{n-1} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

- VI = velocidade de infiltração instantânea (mm.h-1);
- K = capacidade de infiltração no primeiro minuto;
- T = tempo transcorrido para atingir a velocidade de infiltração instantânea (min);
- n = declividade da reta, determinada no local para cada tipo de solo.

A velocidade de infiltração básica VIB foi deduzido através da Equação 6 apresentada a seguir.

$$VIB = 60. C. n \left[\frac{-0,01}{60.C.n(n-1)} \right]^{\frac{n-1}{n-2}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- VIB = Velocidade de infiltração básica (cm/h);
- C = constante que evidencia lâmina infiltrada no primeiro minuto;
- n = declividade da reta, determinada no local para cada tipo de solo, que varia de 0 a 1.

Os resultados obtidos com o ensaio de infiltrômetro de anéis concêntricos realizados no solo e no pavimento foram baseados nos ensinamentos de Kostiaikov (1932), expostas na Tabela 2, 3, 4 e 5 respectivamente no Anexo A, B, C e D.

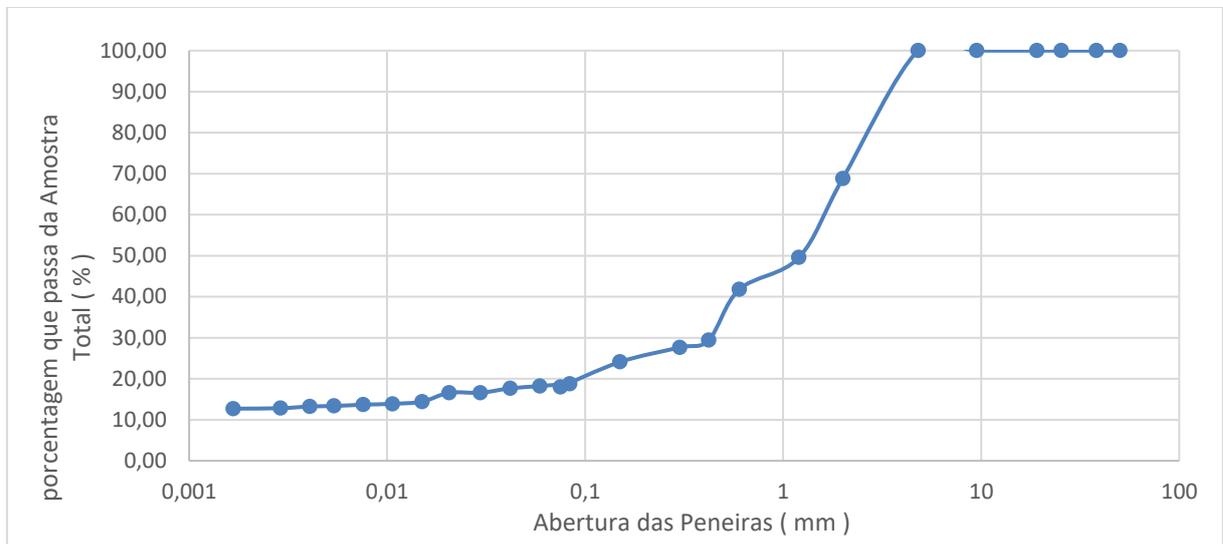
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados de Caracterização do solo

4.1.1 Resultados dos ensaios de granulometria do solo

Constam, a seguir, no Gráfico 1 os resultados relativos ao ensaio de granulometria.

Gráfico 1 –Curva granulométrica



Fonte: Autor

Classificação granulométrica

Classificação Granulométrica da ABNT		
Argila	29	%
Silte	41	%
Areia	9	%
Pedregulho	0	%

Fonte: Autor

Através do ensaio de granulometria da amostra avaliou-se que as peneiras com abertura de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8mm não apreenderam nenhum solo, apenas a

peneira de 2,0mm reteve 306 gramas de solo no que tange ao peneiramento grosso. De modo análogo constata-se que o material que compõe o solo é predominantemente fino, preponderante em silte e argila.

4.1.2 Limites Atterberg

Os resultados obtidos na avaliação dos limites de Atterberg e massa específica dos sólidos estão ressaltadas na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Dados do ensaio de Limite de Liquidez

LL (%)	LP (%)	IP (%)	Massa específica dos sólidos (g/cm ³)
30,5	20,9	9,6	2,21

Fonte: Autor

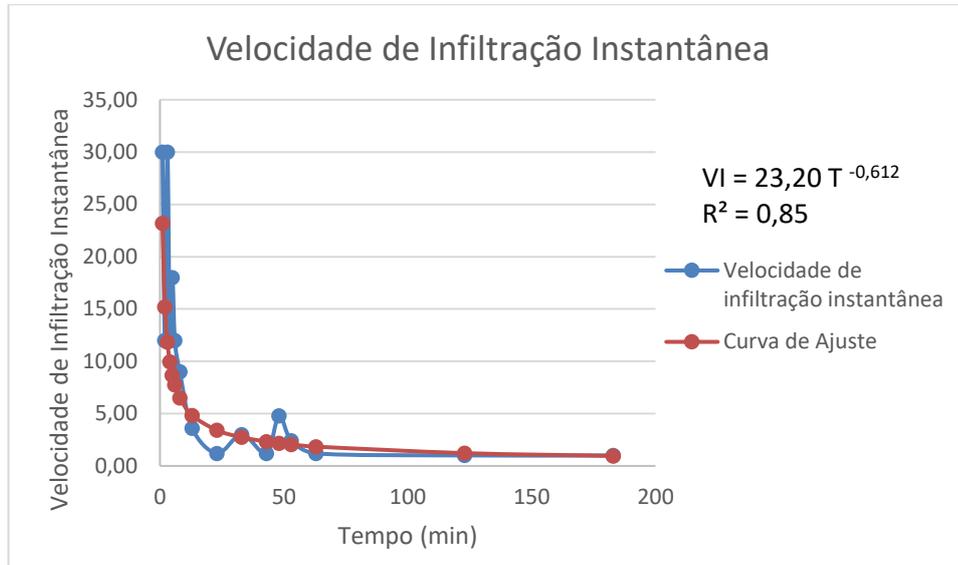
Com base nos resultados, é possível observar que o solo se comporta como mediamente plástico. Quanto aos valores obtidos para definição da massa específica dos sólidos este fora obtido através da média dos valores encontrados no ensaio.

4.2 Resultados Ensaio de Infiltrômetro de Anéis Concêntricos

4.2.1 Resultados de ensaios de infiltração no solo

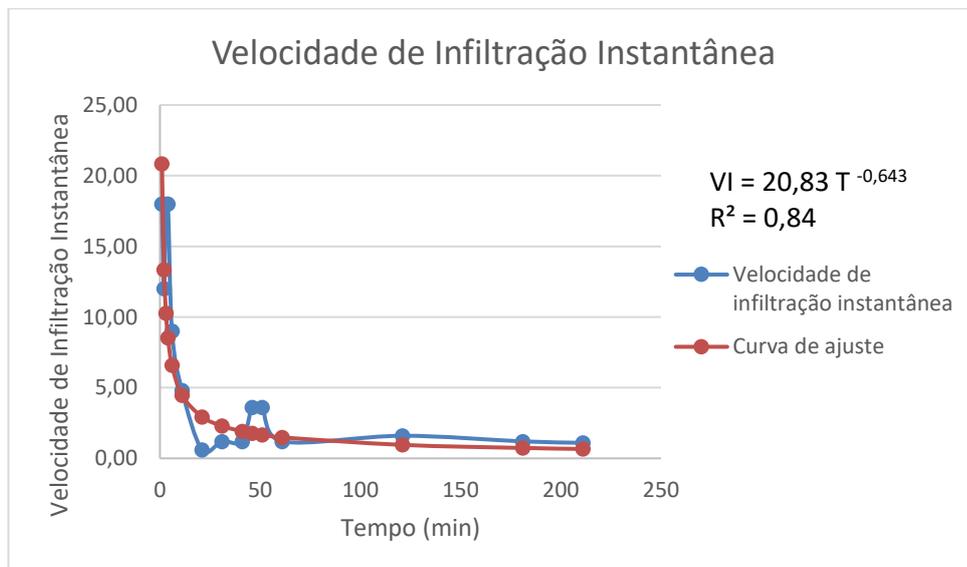
Os resultados obtidos com os ensaios de infiltrômetro de anéis concêntricos realizados no solo estão expostos no Gráfico 2 e 3, que expressa a relação produzida pela velocidade instantânea em função do tempo obtido em cada ensaio realizado no solo.

Gráfico 2 – Velocidade de infiltração realizado no solo, ensaio 1.



Fonte: Autor

Gráfico 3 – Velocidade de infiltração instantânea no solo – Ensaio 2



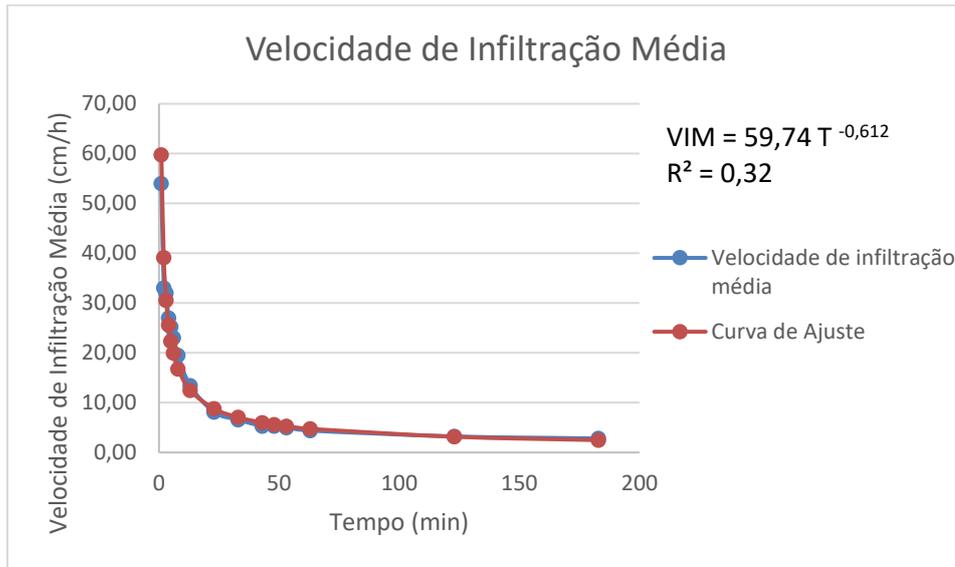
Fonte: Autor

Como apresentado no Gráfico 2 e 3, observa-se que nos instantes iniciais a velocidade de infiltração da água no solo é consideravelmente alta e logo se ameniza em pouco tempo conforme saturação do solo, observa-se um valor de reajuste (R^2) da equação de infiltração acumulada em função do tempo equivalente a 0,85 e valor de velocidade instantânea (VI) equivalente a $23,20 T^{-0,612}$ no que se refere ao ensaio 1 e valor de reajuste (R^2) da equação de infiltração acumulada em função do tempo

equivalente a 0,84 e valor de velocidade instantânea (VI) equivalente a $20,83 T^{-0,643}$ no que se refere ao ensaio 2.

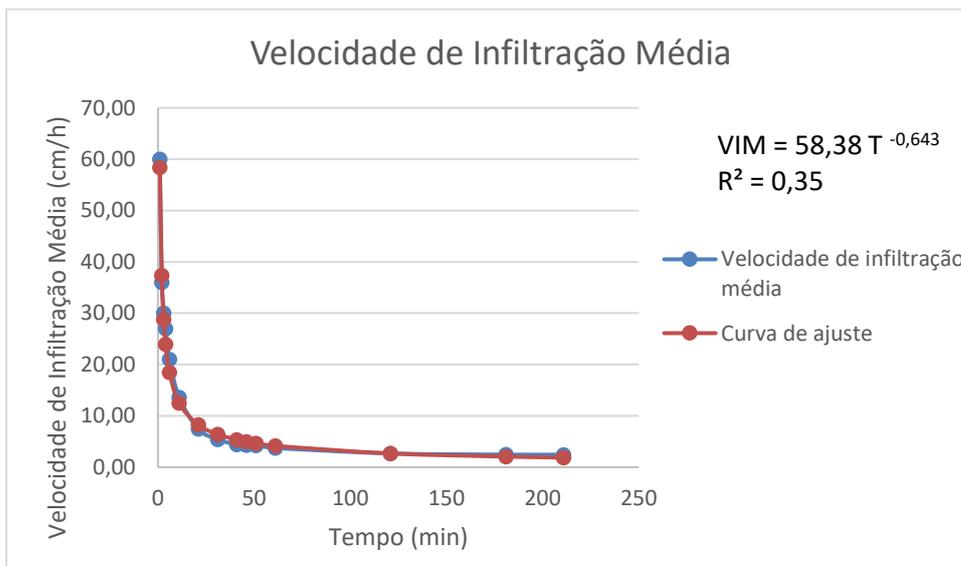
Os resultados obtidos relativos a velocidade de infiltração média está exposta no gráfico 4 e 5 respectivamente para o ensaio 1 e 2.

Gráfico 4 – Velocidade de infiltração média no solo – Ensaio 1



Fonte: Autor

Gráfico 5 – Velocidade de infiltração média no solo – Ensaio 2



Fonte: Autor

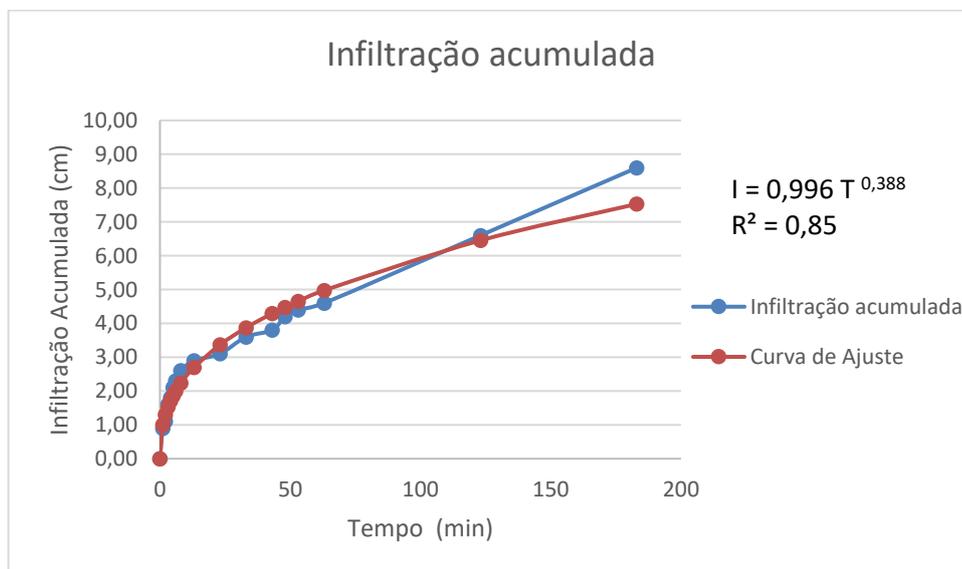
O valor de reajuste (R^2) da equação de infiltração acumulada em função do tempo equivalente fora respectivamente 0,35 e 0,32 e o valor da equação de

velocidade média foi $59,74 T^{-0,612}$ e $58,38 T^{-0,612}$ respectivamente para os ensaios 1 e 2.

Observa-se no Gráfico 4 e 5 que o solo alcançou uma constância de infiltração após o período de 1 hora, onde o solo apresenta nível maior de saturação, sendo esta denominada de VIB (Velocidade de Infiltração Básica) a qual os dados resultantes da equação determinantes da VIB relativas os ensaios 1 e 2 foram $4,10\text{cm h}^{-0,4}$ e $3,45\text{cm h}^{-0,4}$.

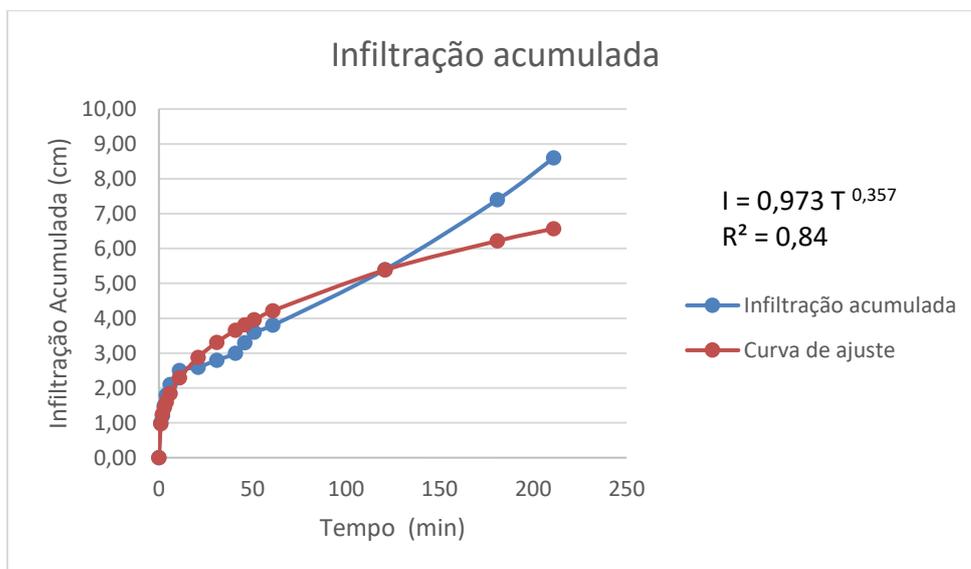
Os resultados obtidos relativos a Infiltração acumulada no solo está exposta no gráfico 7 e 8 a seguir.

Gráfico 6 – Infiltração acumulada no solo - Ensaio 1



Fonte: Autor

Gráfico 7 – Infiltração acumulada no solo - Ensaio 2



Fonte: Autor

O Gráfico 6 e 7 detalha a infiltração acumulada em função do tempo que ocorre no solo, fica entendido que gradativamente o nível de infiltração do solo tende a reduzir gradativamente com o tempo de ensaio, a infiltração acumulada no tempo tende a aumentar numa proporção muito semelhante para o ensaio e um pouco mais acentuada para o ensaio 2, a Infiltração acumulada encontrada nos ensaios 1 e 2 respectivamente equivalem a $0,996 T^{0,388}$ e $0,973 T^{0,357}$.

Fica evidenciado os resultados obtidos para cada ensaio através da Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios

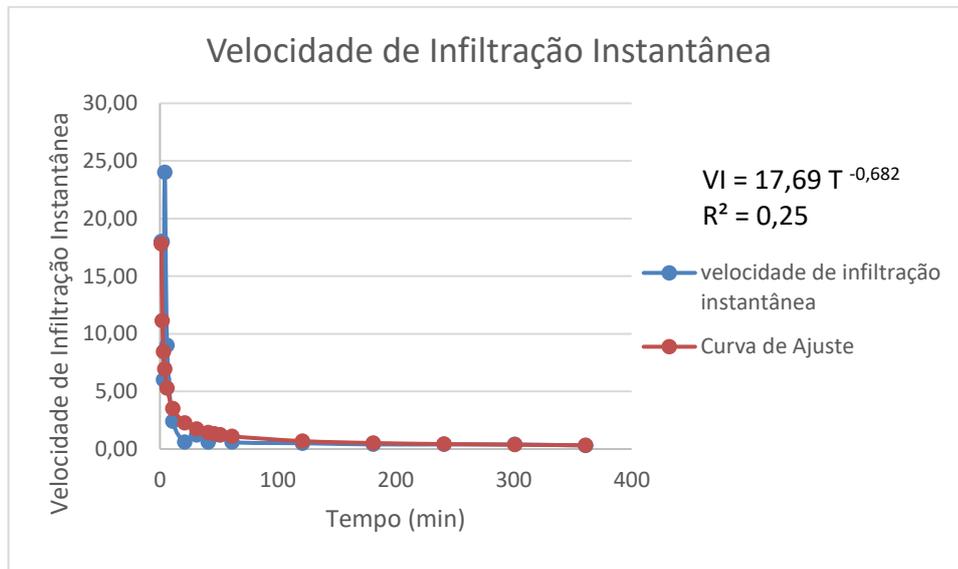
	Ensaio 1	Ensaio 2
Velocidade de infiltração instantânea	$VI = 23,20 T^{-0,612}$ $R^2 = 0,35$	$VI = 20,83 T^{-0,643}$ $R^2 = 0,32$
Velocidade de infiltração média	$VIM = 59,74 T^{-0,612}$ $R^2 = 0,35$	$VIM = 58,38 T^{-0,643}$ $R^2 = 0,32$
Infiltração acumulada	$I = 0,996 T^{0,388}$ $R^2 = 0,85$	$I = 0,973 T^{0,357}$ $R^2 = 0,84$

Fonte: Autor

4.2.2 Resultado dos ensaios de infiltração no pavimento

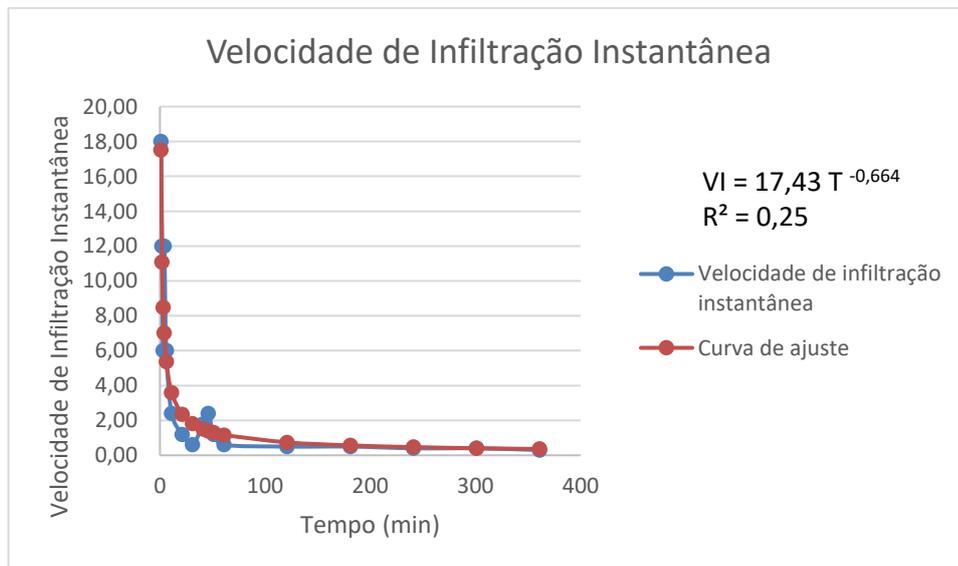
Os resultados obtidos com os ensaios de infiltrômetro de anéis concêntricos realizados no pavimento estão expostos nos Gráficos 8 e 9, que expressa a relação produzida pela velocidade instantânea em função do tempo obtido em cada ensaio realizado.

Gráfico 8 – Velocidade infiltração instantânea no pavimento - Ensaio 1



Fonte: Autor

Gráfico 9 – Velocidade infiltração instantânea no pavimento - Ensaio 2

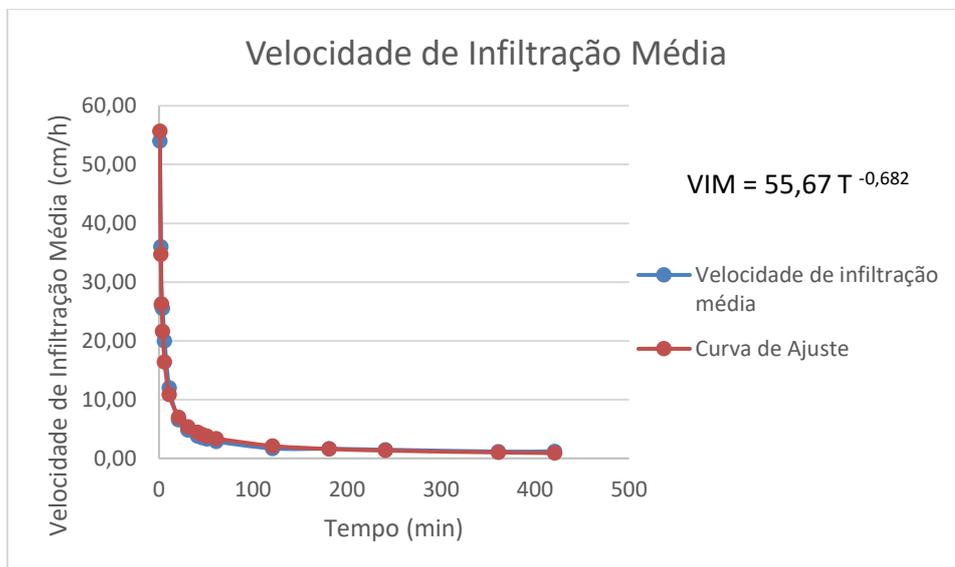


Fonte: Autor

Através do Gráfico 8 e 9, observa-se que nos instantes iniciais a velocidade de infiltração da água no pavimento é razoável e logo se ameniza em pouco tempo, observa-se um valor de reajuste (R^2) da equação de infiltração acumulada em função do tempo equivalente a 0,25 e valor de velocidade instantânea (VI) equivalente a $17,43 T^{-0,667}$ para o ensaio 1 e valor de reajuste (R^2) da equação de infiltração acumulada em função do tempo equivalente a 0,25 e valor de velocidade instantânea (VI) equivalente a $17,43 T^{-0,664}$ para o ensaio 2.

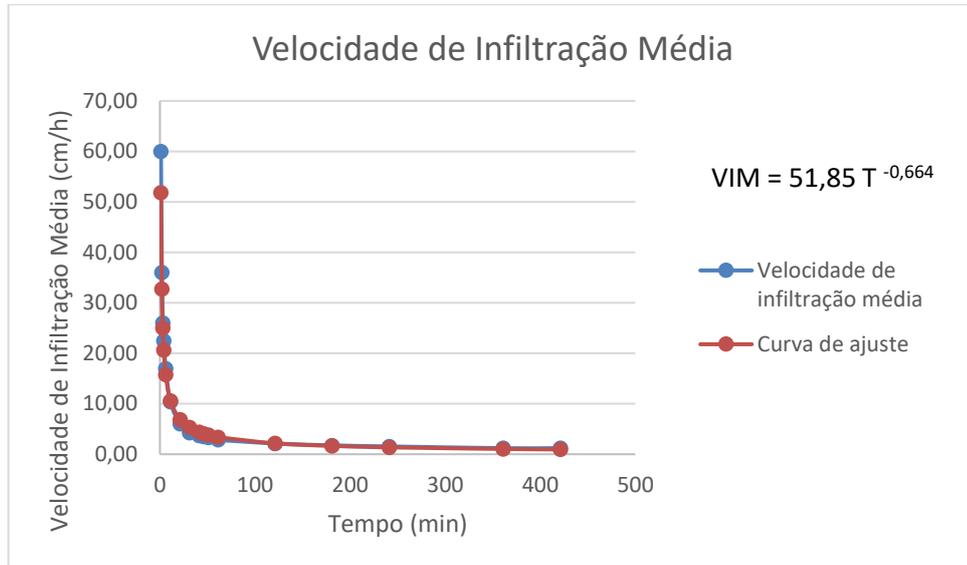
Os resultados obtidos relativos a velocidade de infiltração média está exposta no gráfico 10 e 11 respectivamente para o ensaio 1 e 2.

Gráfico 10 – Velocidade de infiltração média no pavimento - Ensaio 1



Fonte: Autor

Gráfico11 – Velocidade Infiltração média no pavimento - Ensaio 2



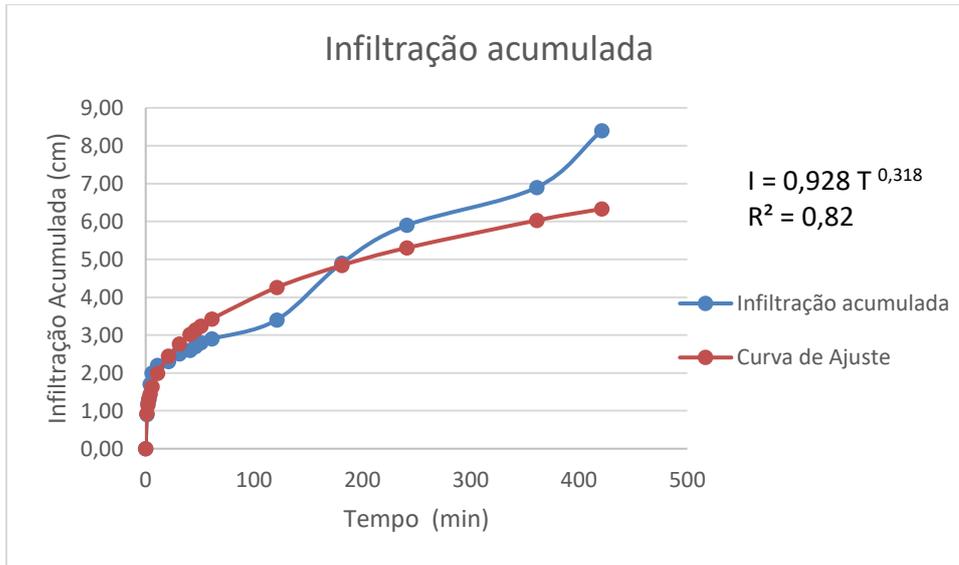
Fonte: Autor

O valor de reajuste (R^2) da equação de infiltração acumulada em função do tempo equivalente fora respectivamente de 0,25 para ambos os ensaios e o valor da equação de velocidade média foi $55,67 T^{-0,682}$ e $51,85 T^{-0,664}$ respectivamente para os ensaios 1 e 2.

Observa-se no Gráfico 10 e 11 que o solo alcançou uma constância de infiltração após o período de 2 hora, onde o solo apresenta nível maior de saturação, sendo esta denominada de VIB (Velocidade de Infiltração Básica) a qual os dados resultantes da equação determinantes da VIB relativas os ensaios 1 e 2 foram $2,77 \text{ cm h}^{-0,4}$ e $2,90 \text{ cm h}^{-0,4}$. Vale ressaltar que houve interferência da área de infiltração efetiva do pavimento onde os anéis utilizados no ensaio não atingiram êxito em cercar uma área significativa do pavimento.

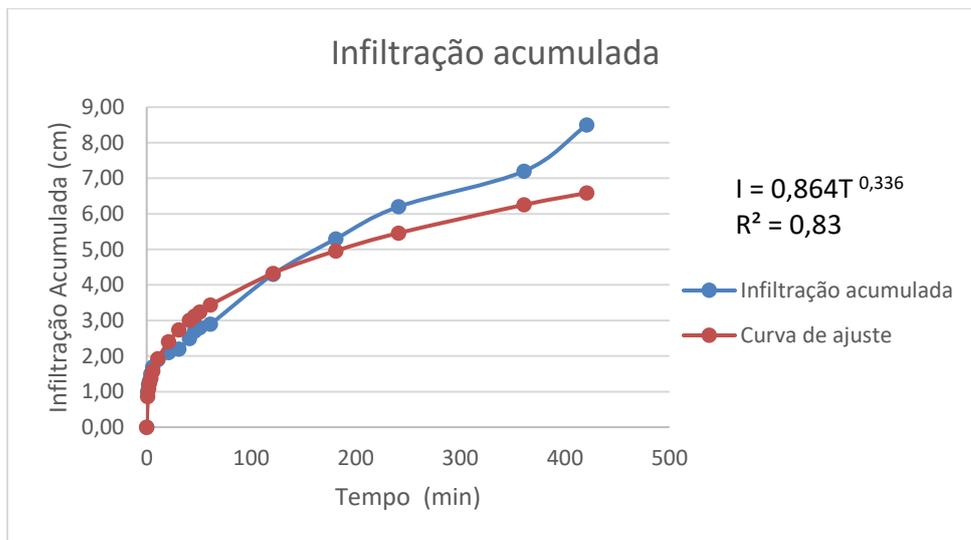
Os resultados obtidos relativos a Infiltração acumulada no solo está exposta no gráfico 12 e 13 a seguir.

Gráfico 12 – Infiltração acumulada no pavimento - Ensaio 1



Fonte: Autor

Gráfico 13 – Infiltração acumulada no pavimento - Ensaio 2



Fonte: Autor

Os Gráfico 12 e 13 detalha a infiltração acumulada em função do tempo que ocorre no pavimento, fica entendido que gradativamente o nível de infiltração do pavimento tende a diminuir, e a infiltração acumulada no tempo tende a aumentar numa proporção muito semelhante para ambos ensaios, a Infiltração acumulada encontrada nos ensaios 1 e 2 respectivamente equivalem a $0,928 T^{0,318}$ e $0,864 T^{0,336}$.

Fica evidenciado os resultados obtidos para cada ensaio através da Tabela 7

Tabela 7 – Resultados dos ensaios

	Ensaio 1	Ensaio 2
Velocidade de infiltração instantânea	$VI = 17,69 T^{-0,682}$ $R^2 = 0,25$	$VI = 17,43 T^{-0,664}$ $R^2 = 0,25$
Velocidade de infiltração média	$VIM = 55,67 T^{-0,682}$ $R^2 = 0,25$	$VIM = 51,85 T^{-0,664}$ $R^2 = 0,25$
Infiltração acumulada	$I = 0,928 T^{0,318}$ $R^2 = 0,82$	$I = 0,864 T^{0,336}$ $R^2 = 0,83$

Fonte: Autor

4.2.3 Comparação dos resultados dos ensaios de infiltração

Com auxílio a Tabela 8 a seguir fica evidenciado a classificação dos solos a parti de sua VIB.

Tabela 8 – Classificação do solo a partir de sua VIB

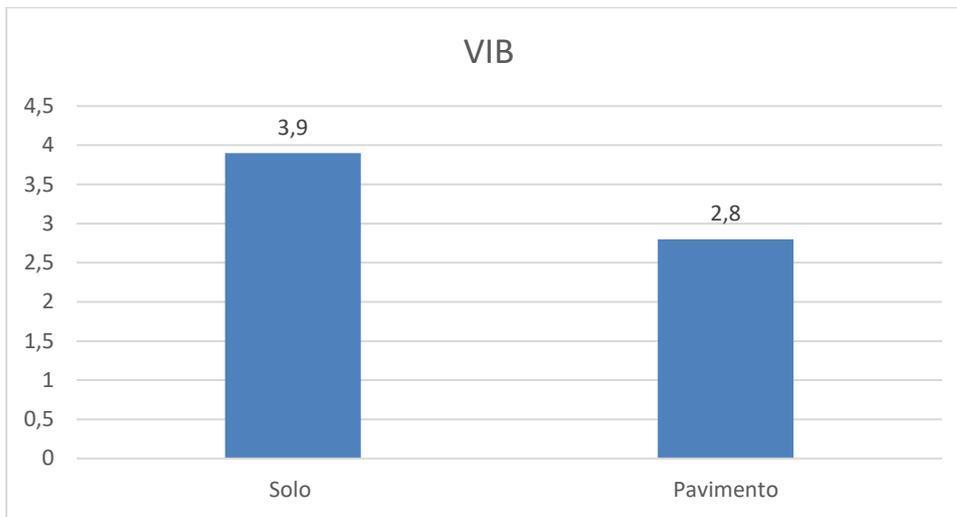
Tipos de solo	VIB (cm/h)
Solo de VIB muito alta	> 3,0
Solo de VIB alta	1,5 - 3,0
Solo de VIB média	0,5 - 1,5
Solo de VIB baixa	< 0,5

Fonte: Kostiakov (1932)

Pode-se observar que no solo a média produzida pelos dois ensaios equivalente a $3,9 \text{ cm h}^{-0,4}$, o que conjectura a VIB numa classificação muito alta, enquanto para os ensaios realizados no pavimento que produziu uma média de $2,8 \text{ cm h}^{-0,4}$ classificado como VIB alta.

Embasado no parágrafo anterior observa-se que ambos ensaios apresentaram uma VIB satisfatória de boa drenagem. No que tange a comparação entre as VIB desenvolvidas entre os ensaios realizados no solo e no pavimento foi desenvolvido o Gráfico 14 a seguir para melhor interpretar a relação produzida entre estas.

Gráfico 14 – Comparativo entre as médias de velocidade de infiltração básica para o solo e pavimento sextavado



Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

Este trabalho cumpriu os objetivos propostos, onde inicialmente foi conhecida a natureza dos materiais componentes do pavimento e do solo através de revisão bibliográfica e ensaios como o de granulometria do solo para subsidio das posteriores análises do método empregado para esse da equação de velocidade de infiltração instantânea, velocidade de infiltração média e infiltração acumulada tanto no solo como no pavimento, não apresentou limitação relativa ao método empregado para obtenção dos parâmetros do método.

Nos termos avaliativos das condições de infiltração do pavimento sextavado, a abordagem apresentou velocidade de infiltração menos saliente devido menor índice de espaços vazios e menor seção de escoamento para a água. Diferentemente o solo apresentou melhor tais características devido maior índices de vazios e maior área de drenagem efetiva além de sua estrutura que é fisicamente mais drenante que a área de concreto do pavimento sextavado. Confirmando o pressuposto no parágrafo anterior a média produzida pelos dois ensaios no que tange ao solo foi obtido VIB equivalente a $3,9\text{cm h}^{-0,4}$, o que conjectura a VIB numa classificação muito alta, enquanto para os ensaios realizados no pavimento que produziu uma média de $2,8\text{cm h}^{-0,4}$ a classificação do VIB foi tida como alta, evidenciando as afirmações anteriores.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Execução e Manutenção de Pavimento Intertravado*, 2010. Disponível em: <http://www.rpu.org.br/Pavimento%20intertravado%20%20execu%C3%A7%C3%A3o%20e%20manuten%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 03 de set. 2018

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, Curso de tecnologia de pavimentos, *Pavimento de concreto passo a passo*, 2001. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/cms/publicacoes/videos/pavimento-de-concreto-passo-a-passo/>>. Acesso em 15 de set. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 7180 – *Solo – Determinação Do Limite De Plasticidade*. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 3p.

_____. *NBR 7181:1986*. Solo – Análise Granulométrica. ABNT, Rio de Janeiro, RJ.

_____. *NBR 6508:2016*. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.

_____. *NBR 14545:2000*. Solo – Determinação Do Coeficiente De Permeabilidade De Solos Argilosos A Carga Variável. Rio de Janeiro, RJ.

_____. *NBR 6457:1986*. Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ.

_____. *NBR 9781:2013*. Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ.

_____. *NBR 15953:2011*. Pavimento Intertravado com Peças de Concreto-Execução. Rio de Janeiro, RJ.

_____. *NBR 15953:2008*. Pavimento Intertravado com Peças de Concreto-Execução. Rio de Janeiro, RJ.

_____. *NBR 7211:2005*. Agregados para concreto. Rio de Janeiro, RJ. Emenda 1:2009.

_____. *NBR 13292:2013*. Solo Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, RJ.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

AUGUSTO, Fernando Augusto júnior. *Manual de Pavimentação Urbana*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992.

BALBO, J. T. *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

CAPUTO, Homero P. *Mecânica dos solos e suas aplicações – fundamentos*. 6ª ed. Volume 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.

CARVALHO, Marcos D. Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico – *Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto*. São Paulo, 1998.

CARVALHO, Daniel Fonseca; SILVA, Leonardo Duarte Batista. *Infiltração*. *Revista Hidrologia*. Ago, 2006.

Construindodecor. Edição Loyce Policastro/Netshare Marketing Criativo, 2010. Acesso em 22/10/2018 Disponível em <
<http://www.superconcreto.com.br/pisos-intertravados-concreto/>>

CRUZ, Luiz M. *Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento*. 2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT-DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. *Manual de restauração rodoviária*. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2006.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Agregado Miúdo – Determinação de Densidade Real*. ME 084. 1995.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. 2012

FIORITI, Cesar F. *Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo*. 2007.

GIL, Carlos Antonio, *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*, São Paulo: 4ª Ed. Atlas, 1991.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDNER, Lenise Grando. *Engenharia de tráfego: 1.º módulo*. Material de apoio didático. Programa de educação tutorial em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

GONÇALVES, F. J. P. *O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis*. Seminário de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999. Acesso em: 17 de junho de 2018.

GONÇALVES, M.; POLIDORO, M.; DA SILVA, D. F. Análise dos índices de impermeabilização do solo utilizando geoprocessamento: proposta de atualização do decreto nº. 402/1980 para projetos de drenagem no município de Londrina-PR. In: *seminário de recursos hídricos da bacia hidrográfica do paraíba do sul: recuperação de áreas degradadas, serviços ambientais e sustentabilidade*, 2., 2009, Taubaté, SP. Anais... São Paulo: IPABHI, 2009. p. 569-576

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; *Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso*. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, (Pombal – PB – Brasil) v.4, n.1, p. 64-73 janeiro/dezembro de 2010.

HALLACK, A. *Pavimento intertravado: uma solução universal*. Revista Prisma. São Paulo, v. 1, dezembro 2012. P. 25-27

KOSTIAKOV, A. N. (1932). *On The Dynamics Of The Coefficient Of Water-Percolation In Soils And On The Necessity Of Studding It From A Dynamic Point*

Of View For Purposes Of Amelioration. Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society, Moscow, Part A, p. 17-21.

MADRID, G. G. *Adoquines de concreto em la construccion de carreteras y calles*. Segmenta consultoria. Educación, 2004.

MARCHIONI, Mariana, SILVA, C. O. *Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas*. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

MATTAR, F. N. *Pesquisa de marketing*. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos pavimentos*. 2. Ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

NABESHIMA, C. K. Y; ORSOLIN, K; SANTOS R. K. X. dos. *Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbana baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto intertravados (pavers)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PETTERMANN, Rodrigo. *Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com Metacaulim e Sílica ativa*. 2006, 71 f. Monografia (PósGraduação) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SANTANA, H. *Manual de Pré-Misturados a Frio*. IBP/ Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ, 1993.

SCARANTO, M; GONÇALVES, F. P. *Manutenção de pavimentos urbanos com revestimentos asfálticos*. Teoria e prática na Engenharia Civil. Universidade de Passo Fundo, 2008, 12f. Disponível em: <<http://info.ucsul.br/banmon/>> Acesso em: 17 de Junho de 2018.

SHOJI, E. S. *Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades de porte médio*. Dissertação (Mestrado em Transportes). Universidade de São Paulo, Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

TUCCI, Carlos E. M, BERTONI, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre, 2006.

TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009.

VIRGILIIS, Luís Afonso Corrêa, *Procedimentos de Projeto e execução de pavimentos permeáveis visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias*, Dissertação de Mestrado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo p.90 2002

YIN, Robert K. *Estudo de caso – planejamento e métodos*. (2Ed.). Porto Alegre: Bookman. 2001.

ANEXO A

Dados do ensaio 1 - Solo

Dados do ensaio 1 - Solo												
Tempo			Régua			Infiltração Acumulada (l) (cm)	Velocidade de Infiltração (Via) (cm/h)	Velocidade de Infiltração Vim (cm/h)	X = log de T	Y = log de l	X*Y	X²
Hora	Intervalo (min)	tempo acum (min)	Diferença (cm)	Leitura (cm)								
7:57	0	0	0,00	7,50		0,00	0,00	0,00				
7:58	1	1	0,50	4,70		0,90	30,00	54,00	0,000	-0,046	0,000	0,000
7:59	1	2	0,20	4,50	7,50	1,10	12,00	33,00	0,301	0,041	0,012	0,091
8:00	1	3	0,50	7,00		1,60	30,00	32,00	0,477	0,204	0,097	0,228
8:01	1	4	0,20	6,80		1,80	12,00	27,00	0,602	0,255	0,154	0,362
8:02	1	5	0,30	6,50		2,10	18,00	25,20	0,699	0,322	0,225	0,489
8:03	1	6	0,20	6,30		2,30	12,00	23,00	0,778	0,362	0,281	0,606
8:05	2	8	0,30	6,00		2,60	9,00	19,50	0,903	0,415	0,375	0,816
8:10	5	13	0,30	5,70		2,90	3,60	13,38	1,114	0,462	0,515	1,241
8:20	10	23	0,20	5,50		3,10	1,20	8,09	1,362	0,491	0,669	1,854
8:30	10	33	0,50	5,00		3,60	3,00	6,55	1,519	0,556	0,845	2,306
8:40	10	43	0,20	4,80		3,80	1,20	5,30	1,633	0,580	0,947	2,668
8:45	5	48	0,40	4,40		4,20	4,80	5,25	1,681	0,623	1,048	2,827
8:50	5	53	0,20	4,20		4,40	2,40	4,98	1,724	0,643	1,109	2,973
9:00	10	63	0,20	4,00		4,60	1,20	4,38	1,799	0,663	1,193	3,238
10:00	60	123	2,00	2,00		6,60	2,00	3,22	2,090	0,820	1,713	4,368
11:00	60	183	2,00	0,00		8,60	2,00	2,82	2,262	0,934	2,114	5,119
								Soma	18,945	7,327	11,298	29,183

ANEXO B

Dados do ensaio 2 - Solo

Dados do ensaio 2 - Solo												
Tempo			Régua			Infiltração Acumulada (l) (cm)	Velocidade de Infiltração (Via) (cm/h)	Velocidade de Infiltração Vim (cm/h)	X = log de T	Y = log de l	X*Y	X²
Hora	Intervalo (min)	tempo acum (min)	Diferença (cm)	Leitura (cm)								
11:29	0	0	0,00	7,50		0,00	0,00	0,00				
11:30	1	1	0,30	3,50	7,50	1,00	18,00	60,00	0,000	0,000	0,000	0,000
11:31	1	2	0,20	7,30		1,20	12,00	36,00	0,301	0,079	0,024	0,091
11:32	1	3	0,30	7,00		1,50	18,00	30,00	0,477	0,176	0,084	0,228
11:33	1	4	0,30	6,70		1,80	18,00	27,00	0,602	0,255	0,154	0,362
11:35	2	6	0,30	6,50		2,10	9,00	21,00	0,778	0,322	0,251	0,606
11:40	5	11	0,40	6,10		2,50	4,80	13,64	1,041	0,398	0,414	1,084
11:50	10	21	0,10	6,00		2,60	0,60	7,43	1,322	0,415	0,549	1,748
12:00	10	31	0,20	5,80		2,80	1,20	5,42	1,491	0,447	0,667	2,224
12:10	10	41	0,20	5,60		3,00	1,20	4,39	1,613	0,477	0,769	2,601
12:15	5	46	0,30	5,30		3,30	3,60	4,30	1,663	0,519	0,862	2,765
12:20	5	51	0,30	5,00		3,60	3,60	4,24	1,708	0,556	0,950	2,916
12:30	10	61	0,20	4,80		3,80	1,20	3,74	1,785	0,580	1,035	3,187
13:30	60	121	1,60	3,20		5,40	1,60	2,68	2,083	0,732	1,525	4,338
14:30	60	181	2,00	1,20		7,40	2,00	2,45	2,258	0,869	1,962	5,097
15:00	30	211	1,20	0,00		8,60	2,40	2,45	2,324	0,934	2,172	5,402
								Soma	19,447	6,761	11,419	32,650

ANEXO C

Dados do ensaio 1 - Pavimento

Dados do ensaio 1 - Pavimento												
Tempo			Régua			Infiltração Acumulada (l) (cm)	Velocidade de Infiltração (Via) (cm/h)	Velocidade de Infiltração Vim (cm/h)	X = log de T	Y = log de l	X*Y	X ²
Hora	Intervalo (min)	tempo acum (min)	Diferença (cm)	Leitura (cm)								
16:59	0	0		7,50		0,00	0,00	0,00				
17:00	1	1	5,30	2,20	7,50	0,90	318,00	54,00	0,000	-0,046	0,000	0,000
17:01	1	2	0,30	7,20		1,20	18,00	36,00	0,301	0,079	0,024	0,091
17:02	1	3	0,10	7,10		1,30	6,00	26,00	0,477	0,114	0,054	0,228
17:03	1	4	0,40	6,70		1,70	24,00	25,50	0,602	0,230	0,139	0,362
17:05	2	6	0,30	6,40		2,00	9,00	20,00	0,778	0,301	0,234	0,606
17:10	5	11	0,20	6,20		2,20	2,40	12,00	1,041	0,342	0,357	1,084
17:20	10	21	0,10	6,10		2,30	0,60	6,57	1,322	0,362	0,478	1,748
17:30	10	31	0,20	5,90		2,50	1,20	4,84	1,491	0,398	0,593	2,224
17:40	10	41	0,10	5,80		2,60	0,60	3,80	1,613	0,415	0,669	2,601
17:45	5	46	0,10	5,70		2,70	1,20	3,52	1,663	0,431	0,717	2,765
17:50	5	51	0,10	5,60		2,80	1,20	3,29	1,708	0,447	0,764	2,916
18:00	10	61	0,10	5,50		2,90	0,60	2,85	1,785	0,462	0,826	3,187
19:00	60	121	0,50	5,00		3,40	0,50	1,69	2,083	0,531	1,107	4,338
20:00	60	181	1,50	3,50		4,90	1,50	1,62	2,258	0,690	1,558	5,097
21:00	60	241	1,00	2,50		5,90	1,00	1,47	2,382	0,771	1,836	5,674
23:00	120	361	1,00	1,50		6,90	0,50	1,15	2,558	0,839	2,145	6,541
0:00	60	421	1,50	0,00		8,40	1,50	1,20	2,624	0,924	2,426	6,887
								Soma	24,686	7,292	13,927	46,349

ANEXO D

Dados do ensaio 2 - Pavimento

Dados do ensaio 2 - Pavimento												
Tempo			Régua			Infiltração Acumulada (l) (cm)	Velocidade de Infiltração (Via) (cm/h)	Velocidade de Infiltração Vim (cm/h)	X = log de T	Y = log de l	X*Y	X²
Hora	Intervalo (min)	tempo acum (min)	Diferença (cm)	Leitura (cm)								
16:59	0	0		7,50		0,00	0,00	0,00				
17:00	1	1	4,50	3,00	7,50	1,00	270,00	60,00	0,000	0,000	0,000	0,000
17:01	1	2	0,20	7,30		1,20	12,00	36,00	0,301	0,079	0,024	0,091
17:02	1	3	0,10	7,20		1,30	6,00	26,00	0,477	0,114	0,054	0,228
17:03	1	4	0,20	7,00		1,50	12,00	22,50	0,602	0,176	0,106	0,362
17:05	2	6	0,20	6,80		1,70	6,00	17,00	0,778	0,230	0,179	0,606
17:10	5	11	0,20	6,60		1,90	2,40	10,36	1,041	0,279	0,290	1,084
17:20	10	21	0,20	6,40		2,10	1,20	6,00	1,322	0,322	0,426	1,748
17:30	10	31	0,10	6,30		2,20	0,60	4,26	1,491	0,342	0,511	2,224
17:40	10	41	0,30	6,00		2,50	1,80	3,66	1,613	0,398	0,642	2,601
17:45	5	46	0,20	5,80		2,70	2,40	3,52	1,663	0,431	0,717	2,765
17:50	5	51	0,10	5,70		2,80	1,20	3,29	1,708	0,447	0,764	2,916
18:00	10	61	0,10	5,60		2,90	0,60	2,85	1,785	0,462	0,826	3,187
19:00	60	121	1,40	4,20		4,30	1,40	2,13	2,083	0,633	1,319	4,338
20:00	60	181	1,00	3,20		5,30	1,00	1,76	2,258	0,724	1,635	5,097
21:00	60	241	0,90	2,30		6,20	0,90	1,54	2,382	0,792	1,887	5,674
23:00	120	361	1,00	1,30		7,20	0,50	1,20	2,558	0,857	2,193	6,541
0:00	60	421	1,30	0,00		8,50	1,30	1,21	2,624	0,929	2,439	6,887
								Soma	24,686	7,219	14,012	46,349