

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e
Gestão do Ambiente Construído

Fernanda Carolina Batista Monteiro

APLICAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL
MOLDADO NO LOCAL VISANDO O CONTROLE DO
ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Belo Horizonte,
2017

Fernanda Carolina Batista Monteiro

**APLICAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL
MOLDADO NO LOCAL VISANDO O CONTROLE DO
ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Dr^a Paula Bamberg

**Belo Horizonte,
2017**

M775a

Monteiro, Fernanda Carolina Batista.

Aplicação do concreto permeável moldado no local visando o controle do escoamento superficial [manuscrito] / Fernanda Carolina Batista Monteiro. - 2017.
37 f., enc.: il.

Orientadora: Paula Bamberg.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Inclui anexos.

Bibliografia: f. 31-33.

1. Construção civil. 2. Concreto. 3. Drenagem. 4. Escoamento. 5. Permeabilidade. I. Bamberg, Paula. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: FERNANDA CAROLINA BATISTA MONTEIRO

MATRÍCULA: 2016668711

RESULTADO

Aos 22 dias do mês de maio de 2017 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“APLICAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL MOLDADO NO LOCAL VISANDO O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 80

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

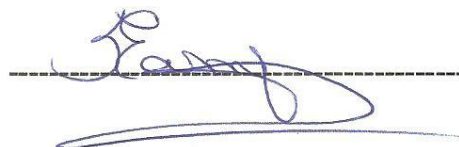
Profª. Drª. Paula Bamberg



Nome

Assinatura

Profª. Drª. Sidnea Eliane Campos Ribeiro



O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "TECNOLOGIA E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRuíDO"

Belo Horizonte, 22 de maio de 2017



Coordenador do Curso
Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior
Coordenador do Curso

*A verdadeira viagem de descobrimento não
consiste em procurar novas paisagens, e sim
em ter novos olhos.*

(Marcel Proust)

RESUMO

O crescimento desordenado e sem planejamento que ocorre nos grandes centros urbanos tem como grave consequência inundações e alagamentos em períodos de chuva que são provocados pelo aumento das áreas impermeabilizadas, ocupação indevida das margens dos rios urbanos e pelo descuido da população em poluir as ruas, consequentemente as canaletas e bueiros. Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo analisar a aplicação do concreto permeável moldado *in loco* em calçadas e áreas de tráfego de pedestres, como um complemento à solução da drenagem urbana e redução do escoamento superficial. Foi realizada revisão bibliográfica sobre drenagem urbana, pavimentos e concreto permeável, abrangendo suas características, vantagens e desvantagens, traços e aplicações. Foi realizada uma comparação entre o pavimento de concreto permeável moldado no local e os pavimentos de concreto com juntas alargadas e áreas vazadas para avaliar as vantagens deste método.

Palavras-chave: Concreto permeável. Drenagem urbana. Escoamento superficial. Coeficiente de permeabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de impacto da drenagem urbana.....	10
Figura 2- Estrutura do pavimento de concreto.....	15
Figura 3- Seção transversal de um pavimento de concreto.....	16
Figura 4- Pavimento com placas de concreto - MG 010.....	16
Figura 5- Estrutura do pavimento flexível	17
Figura 6- Seção transversal de um pavimento asfáltico	18
Figura 7- Seção do sistema de infiltração do pavimento intertravado.....	20
Figura 8- Pavimento intertravado com juntas alargadas.....	21
Figura 9- Pavimento constituído por peças de concreto com áreas vazadas	21
Figura 10- Revestimento de peças de concreto permeável.....	22
Figura 11- Revestimento de pavimento de placas de concreto	22
Figura 12- Pavimento revestido com concreto permeável moldado no local	23
Figura 13- Concreto permeável.....	23
Figura 14- Exemplo de pavimento com infiltração total	24
Figura 15- Exemplo de pavimento com infiltração parcial	24
Figura 16- Exemplo de pavimento sem infiltração.....	25
Figura 17- Aplicação do concreto permeável moldado no local.....	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Exemplos de traços de concreto de cimento Portland	12
Quadro 2- Materiais utilizados na produção de concreto permeável	13
Quadro 3- Resistência mecânica revestimento permeável.....	19
Quadro 4- Coeficiente de escoamento superficial	28

SUMÁRIO

Capítulo 1: Referencial Teórico.....	9
1.1 Drenagem urbana	9
1.2 Concreto	11
1.2.1 Conceito	11
1.2.2 Caracterização	11
1.2.3 Concreto convencional	12
1.2.4 Concreto permeável	13
1.3 Pavimentos	14
1.3.1 Pavimentos impermeáveis.....	14
1.3.2 Pavimentos permeáveis	18
1.4 Pavimento de concreto permeável - Concreto moldado in loco.....	23
1.4.1 Traço e cura	25
1.4.2 Aplicações	25
Capítulo 2: Comparação entre pavimentos permeáveis de concreto e concreto permeável/poroso moldado no local.....	27
Considerações finais	30
Referências bibliográficas.....	31
Anexo.....	34

INTRODUÇÃO

Os centros urbanos no Brasil, em sua grande maioria, se desenvolveram de maneira desordenada e sem o devido cuidado com o meio ambiente. A falta de planejamento e a urbanização descontrolada resultou em altas taxas de impermeabilização do solo e ausência de espaços permeáveis como parques e jardins, que proporcionam infiltração de águas pluviais no solo alcançando os lençóis freáticos. As grandes cidades urbanas sofrem com elevados índices de impermeabilização do solo, ocasionando em períodos de chuvas, a ocorrência de alagamentos e enchentes com maior frequência.

A partir de meados de 1980 foi percebida a necessidade da alteração dos padrões na gestão da drenagem urbana, pois era necessário adequar questões técnicas, sociais, ambientais, econômicas e a qualidade da água. Os efeitos ocasionados pelo escoamento superficial direto devem ser tratados na fonte produtora e não mais transferidos às populações a jusante. O princípio de que o afastamento da água deve ocorrer o mais veloz possível para jusante é reconhecido como equivocado (TUCCI, 2007). Logo foram criados conceitos que agregam questões sócio-econômico-ambientais junto com a participação da comunidade como agente fiscalizador dentro do contexto da drenagem urbana.

Mediante a mudança desse modelo foram criados conceitos de drenagens. As drenagens mitigadoras, de caráter estrutural, compostas por obras, têm objetivo de evitar o transbordamento dos córregos. As drenagens de medida não estruturais que consistem nos sistemas contra inundações como programas de educação ambiental, planejamento integrado e a gestão dos resíduos sólidos. As medidas de controle compensatórias podem atuar na distribuição e/ou na fonte e na microdrenagem e ocorrem na drenagem urbana por meio de armazenamento do escoamento superficial direto, percolação e infiltração (TUCCI,2007).

São nas medidas compensatórias que se utilizam técnicas de drenagem para reduzir ou controlar o excesso de água pluvial gerados pela impermeabilização e poluição, além de abastecer o lençol freático, porém isoladamente não promovem o controle das inundações. Foram criadas tecnologias para atender as necessidades urbanas, contribuindo junto com a drenagem a reversão deste problema. O

pavimento permeável é uma boa solução para complementar o sistema de drenagem.

Existem diversos tipos de pavimentos permeáveis de concreto para devida aplicação. o objetivo geral deste trabalho é realizar uma comparação entre o pavimento de concreto permeável moldado no local e os pavimentos de concreto com juntas alargadas e áreas vazadas. Os objetivos específicos são conceituar os tipos de pavimentos existentes, levantar as vantagens e desvantagens de cada tipo de pavimentação e apresentar a comparação entre os pavimentos de concreto permeável.

Para o desenvolvimento deste trabalho será abordado no primeiro capítulo temas como drenagem urbana, tipos de pavimento permeáveis e não permeáveis, incluindo o concreto permeável moldado no local, bem como suas características, traço, vantagens, desvantagens e locais de aplicação. No segundo capítulo será realizada a comparação do concreto permeável moldado no local com outras alternativas de pavimentos de concreto permeáveis, sendo elas denominadas como com juntas alargadas e áreas vazadas. E por fim, serão apresentadas as considerações finais.

CAPÍTULO 1:

REFERÊNCIAL TEÓRICO

1.1 Drenagem urbana

No atual contexto do desenvolvimento do Brasil, houve intensificação da urbanização e aumento dos impactos hidrológicos e ambientais. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2010), o Brasil apresentou ao longo das últimas décadas, um crescimento da população urbana e consequente expansão das regiões metropolitanas, cuja taxa chegou hoje a 92,4%.

Diante dessa situação, um grande desafio a ser solucionado é a questão da drenagem urbana. Um dos principais impactos que tem ocorrido decorrente do aumento da população na drenagem urbana é o aumento da frequência e magnitude das inundações.

Drenagem urbana consiste no conjunto de medidas que visam minimizar os riscos a que a população está sujeita, diminuindo prejuízos causados por inundações, possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (VAZ, 2004).

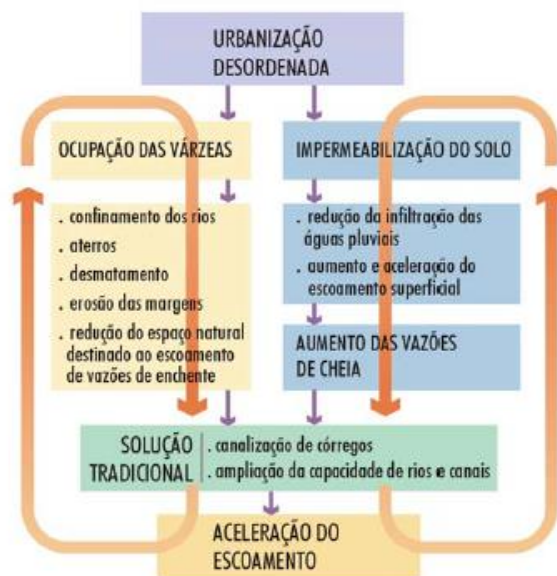
Segundo Tucci (1995), os principais indicadores do desenvolvimento urbano são subdivididos em população (taxa de crescimento, migração e densificação urbana), econômico (renda, produto bruto e perfil de produção) e uso do solo (distribuição por tipo de uso do espaço urbano em residencial comercial e industrial, áreas públicas).

Desde o século passado, o desenvolvimento urbano passou a criar padrões de concentração urbana. Nas grandes cidades, houve um processo de desconcentração urbana em direção à periferia, deixando o centro das cidades despovoado e degradado. Dificuldades de vias de transporte, aumento de tráfego, deterioração do transporte têm levado a mudanças de atitude nesse processo.

A falta ou o mal planejamento urbano gera grandes transtornos e graves problemas, sendo que os principais relacionados à infraestrutura de água no ambiente urbano são: a falta de tratamento de esgoto que grande parte das cidades possui e acabam fazendo o lançamento destes efluentes nas redes de esgotamento

pluviais e escoam pelos rios que cortam as cidades; a ocupação do leito de inundação ribeirinha, sofrendo frequentes inundações; impermeabilização e canalização dos rios urbanos, aumento dos resíduos sólidos que deteriora a qualidade da água por não haver tratamento dos efluentes; falta de implementação da drenagem urbana, visão setORIZADA do planejamento urbano e a falta de capacidade dos municípios para gerenciar os diferentes aspectos da água no meio urbano (TUCCI, 2005). Na Figura 1 é apresentado o processo de impacto da drenagem urbana.

Figura 1 – Processo de impacto da drenagem urbana



Fonte: Manual de Gestão das Inundações Urbanas, TUCCI (2005 *apud* SUDERHSA, 2002).

As regiões metropolitanas deixaram de crescer no seu núcleo, mas se expandem na periferia, justamente onde se concentram os mananciais, agravando este problema. A tendência é de que as cidades continuem buscando novos mananciais, sempre mais distantes e com alto custo. As ineficiências públicas são observadas na perda de água tratada nas redes de distribuição urbana, nas redes de tratamento de esgoto funcionam abaixo da capacidade instalada, nas redes de drenagem pluvial quando é transportado esgoto sanitário que deveria transportar somente águas pluviais e a construção de canais e condutos que, ao invés de complementar, somente transferem as inundações de um local para outro da cidade (TUCCI, 2005).

1.2 Concreto

1.2.1 Conceito

O concreto é uma mistura de aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. É composto por cimento, água e agregados miúdos e graúdos.

1.2.2 Caracterização dos materiais

De acordo com Petrucci (1981) cimento Portland é um material pulverulento, constituído por silicatos e aluminatos de cálcio, formado por um concentrado alcançado através da moagem do clínquer, ao qual são adicionadas quantidades de sulfato de cálcio (gesso sem hidratação). As matérias primas empregadas na fabricação são o calcário, a argila e o gesso.

Conforme NBR 15900:2009 são consideradas satisfatórias as águas potáveis para o preparo do concreto, com pH entre 5,8 e 8,0, e que atendam alguns limites estabelecidos em norma.

Os agregados são todos os materiais granulares inertes e apropriado para uso em obras. Os agregados não possuem forma e volume definidos e se classificam em miúdo e graúdo (PETRUCCI, 1981).

Agregado miúdo é todo material que passa na peneira de nº 4. Esta peneira é constituída por uma malha quadrada com abertura de 4,8 mm de lado. Entende-se por material que passa na peneira, aquele em que se tem no máximo 15% do volume retido. Alguns materiais que podem se enquadrar na classificação de agregado miúdo são: areia quartzosa de rio, areia quartzosa de mina e areia artificial (granito, gnaisse, calcário, etc.);

Agregado graúdo consiste no material que fica retido na peneira de nº4. Entende-se por material retido aquele em que se tem no máximo 15% do volume que passa. Alguns materiais que podem se enquadrar na classificação de agregado graúdo são: pedra britada e brita de ferro cromo (PETRUCCI,1981).

1.2.3 Concreto convencional

Utilizado na maioria das obras civis de aplicação estrutural, o concreto convencional deve ser lançado nas fôrmas por carrinhos de mão, giricas, guas, etc.

Sua consistência é seca, podendo ter a trabalhabilidade melhorada através da adição de aditivos fluidificantes. É aplicado em obras civis, industriais e em peças pré-moldadas (PETRUCCI, 1981).

Traço:

A proporção dos materiais que constituem o concreto, ou seja, o traço do concreto, é determinado por métodos de dosagem. Na Quadro 1 são apresentados alguns exemplos de traços para concreto.

Quadro 1: Exemplos de traços de concreto de cimento Portland

Traço	Fator	Consumo por m ³ de concreto fresco					Resistência à compressão			
	A/C	Cimento		Areia	Britas		Água	3 dias	7 dias	28 dias
	Litros/kg	Kg	Sacos	m ³	Nº 1 m ³	Nº 2 m ³	Litros	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
1:1:2	0,44	514	10,3	0,363	0,363	0,363	226	228	300	400
1:2:3	0,61	344	6,9	0,486	0,364	0,364	210	117	172	254
1:3:6	0,95	208	4,2	0,441	0,441	0,441	198	30	54	100

Fonte: Adaptado de ANDOLFATO (2002)

Para a dosagem do concreto, é determinada a razão entre o fator água cimento (a/c), que pode ser considerada como a principal relação utilizada na composição do concreto. Cada material a ser utilizado na dosagem deve ser analisado previamente em laboratório, conforme normas da ABNT, a fim de verificar a qualidade e para se obter os dados necessários à elaboração do traço (DA SILVA, 1975).

1.2.4 Concreto permeável

Segundo a NBR 16416:2015 o concreto permeável é um concreto o qual possui vazios interligados que permitem a percolação de água por ação da gravidade. O concreto permeável possui a mesma composição do concreto convencional, porém em diferentes proporções. O agregado miúdo costuma ser reduzido ou até mesmo eliminado, enquanto o agregado graúdo se encontra dominante (BATEZINI, 2013 *apud* TENNIS *et al.*, 2004).

O traço do concreto permeável, conforme Quadro 2, utiliza-se de 270 a 415 kg de cimento Portland por metro cúbico de concreto. O agregado graúdo contribui entre 1190 e 1700 kg por metro cúbico de concreto. A quantidade de água é relativamente baixa, representando 27% a 34% da massa de cimento da mistura. O diferencial do material em questão é o agregado graúdo, que compõe de 4 a 4,5 vezes a massa de cimento do concreto. Já o agregado miúdo terá no máximo a mesma massa do agregado graúdo, podendo até mesmo não ser utilizado (BATEZINI, 2013).

Quadro 2 – Materiais utilizados na produção de concreto permeável

Materiais	Consumo/Proporção
Cimento (kg/m ³)	270 a 415
Agregado graúdo (kg/m ³)	1190 a 1700
Relação água/cimento em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento agregado em massa	1:4 a 1:4,5
Relação agregado miúdo/agregado graúdo em massa	0 a 1:11

Fonte: Adaptado de BATEZINI, 2013.

O índice de vazios do concreto permeável é em torno de 20% (LAFARGE, 2014). Essa é a principal diferença entre este material e o concreto de cimento Portland convencional.

1.3 Pavimentos

Pavimento é uma estrutura com conjunto de camadas construídas sobre terraplenagem, projetada de maneira técnica e econômica. (BERNUCCI *et al*, 2008). De acordo com a NBR 16416:2015 essa estrutura deve resistir aos esforços verticais e horizontais oriundos do tráfego, além de fornecer aos usuários melhoria nas condições de rolamento com conforto e segurança.

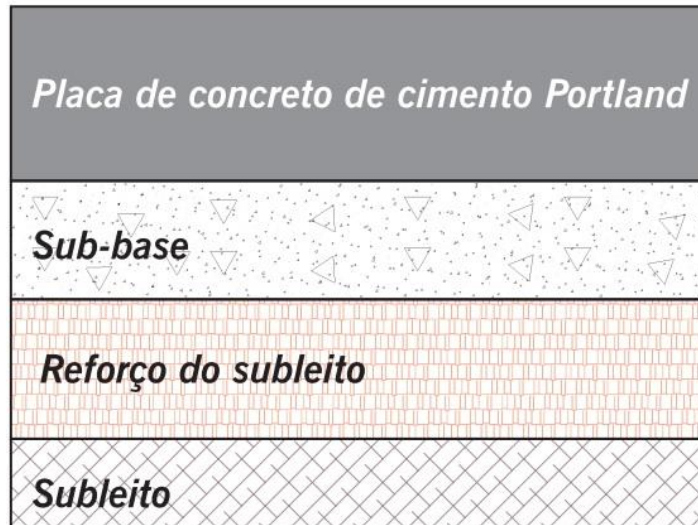
1.3.1 Pavimentos impermeáveis

Os pavimentos impermeáveis são aqueles que não possuem espaços livres em sua estrutura, impedindo a infiltração da água e causando imediatamente o escoamento superficial (MARCHIONI; SILVA, 2012). Esse tipo de pavimentação exige a implantação de sistemas de microdrenagem, como bocas de lobo e canaletas, eficientes o suficiente para impedir o acúmulo de água na superfície dos pavimentos e evitar as inundações.

1.3.1.1 Pavimento de concreto

Estes pavimentos de concreto possuem em seu revestimento uma placa de concreto de cimento Portland. A espessura da placa varia de acordo com a resistência à flexão e das camadas subjacentes (FIGURA 2). Os pavimentos de concreto são classificados como rígidos quando o revestimento absorve praticamente todos os esforços proveniente dos carregamentos aplicados devido sua elevada rigidez em relação as demais camadas, e as camadas subjacentes são sub-base, subleito e reforço do subleito, quando necessário. São constituídas por materiais granulares ou materiais estabilizados com cimento (BERNUCCI *et al*, 2008).

Figura 2 – Estrutura do pavimento de concreto



Fonte: BERNUCCI *et al* (2008).

O subleito é uma camada irregular destinada para a fundação do pavimento (SENÇO, 2007).

O reforço do subleito é a camada de espessura constante transversalmente executada sobre o subleito (PINTO; PREUSSLER, 2001). Pode ser considerado como camada suplementar do subleito ou camada complementar da sub-base (SENÇO, 2007).

A sub-base é a camada complementar da base situada entre o subleito ou reforço do subleito e base (SENÇO, 2007).

O revestimento é a camada superior, impermeável, a fim de proteger as camadas inferiores da degradação originadas pela ação do tráfego (SENÇO, 2007).

Os materiais da base, sub-base e reforço do subleito são compostos por materiais granulares, solos ou misturas de solos. O tráfego e disponibilidade dos materiais influenciam na ausência de algumas camadas (BERNUCCI *et al*, 2008).

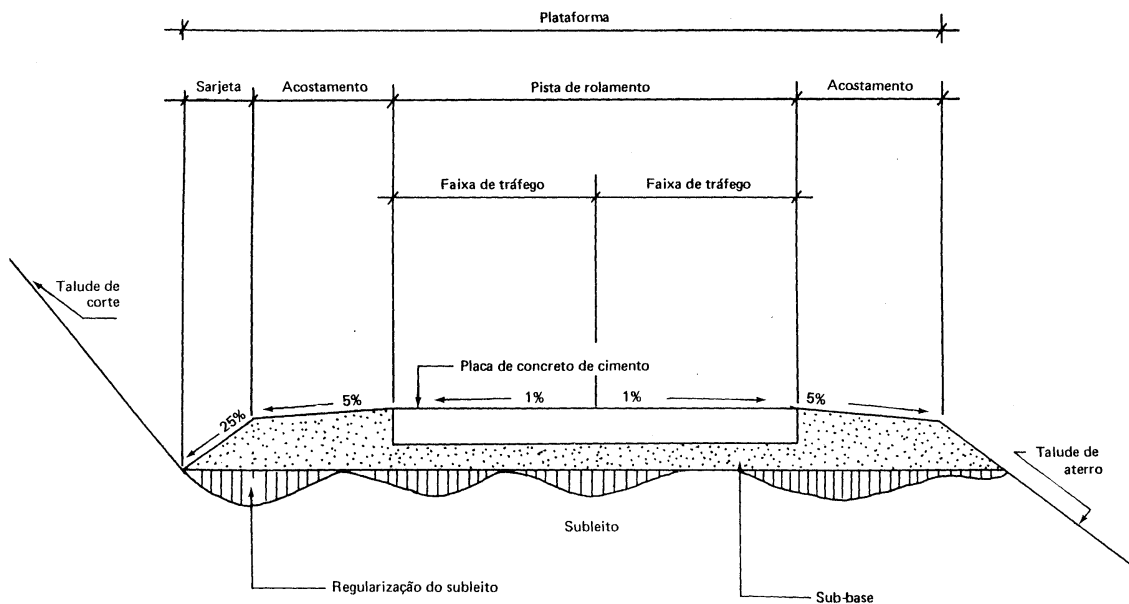
Na Figura 3 é apresentado um esquema de uma seção transversal típica de um pavimento de concreto.

Aplicações

Dentre as principais aplicações do pavimento de concreto é possível citar a construção de estradas e rodovias, pistas de aeroportos, corredores de grandes

avenidas e calçadas urbanas. A Figura 4 ilustra a aplicação do pavimento de concreto na MG-010.

Figura 3 - Seção transversal de um pavimento de concreto



Fonte: Manual de técnicas de pavimentação (2007).

Figura 4 – Pavimento de concreto – MG 010



Fonte: DER , 2011.

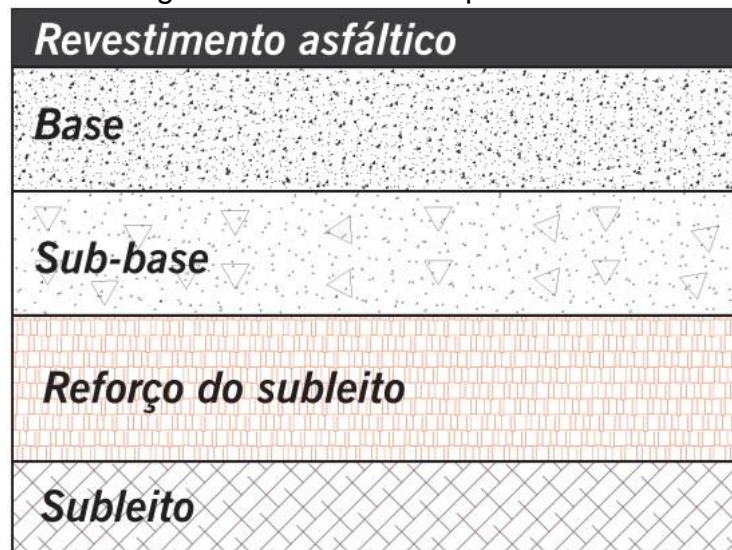
1.3.1.2 Pavimento asfáltico

Os pavimentos asfálticos são classificados como flexíveis e são compostos, em geral, por uma camada superficial asfáltica, chamado revestimento, lançada sobre uma camada de base, sub-base e de reforço do subleito constituídas por solos e por materiais granulares (BERNUCCI *et al*, 2008).

Segundo Pinto e Preussler (2001), nos pavimentos flexíveis todas as camadas suportam uma deformação elástica significativa sobre o carregamento aplicado, além da distribuição das cargas, entre as camadas, serem aproximadamente equivalente.

A Figura 5 representa a estrutura do pavimento asfáltico. Diferente do pavimento de concreto, o pavimento asfáltico possui uma base que é a parte da estrutura situada seguidamente abaixo do revestimento. A camada deve conter rigidez e resistência à fadiga da estrutura para atingir sua principal função no pavimento de suporte estrutural (PINTO; PREUSSLER, 2001).

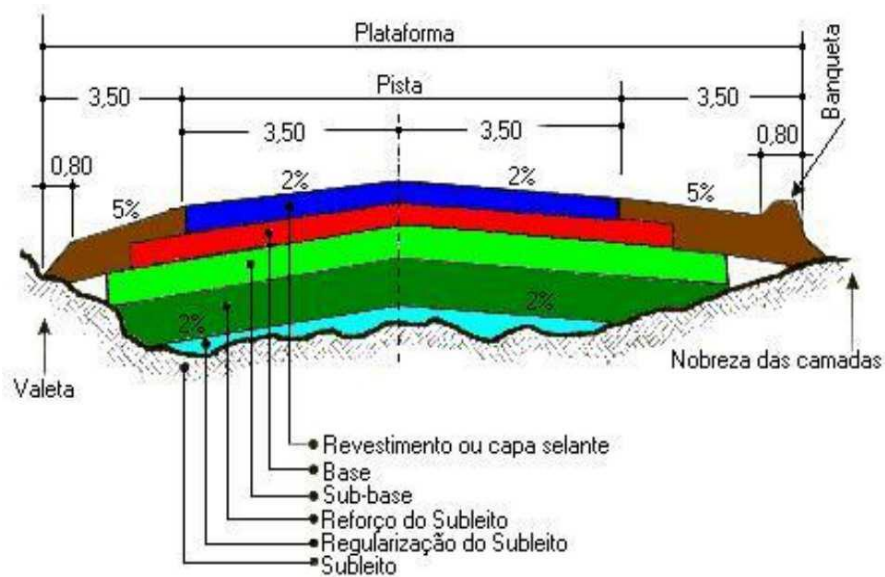
Figura 5 – Estrutura do pavimento flexível



Fonte: BERNUCCI *et al* (2008)

A Figura 6 apresenta uma seção típica de um pavimento asfáltico.

Figura 6 – Seção transversal de um pavimento asfáltico



Fonte: MARQUES, 2015.

Aplicações

As principais aplicações do pavimento asfáltico são para a construção de estradas e rodovias.

1.3.2 Pavimentos permeáveis

Pavimentos permeáveis são aqueles que atendem simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano a sua estrutura (ABNT NBR16416, 2015). De acordo com Batezini (2013) esse tipo de estrutura, quando bem projetada e implantada, pode influenciar nas vazões de pico que ocorrem em períodos chuvosos.

Segundo Marchioni e Silva (2011) a urbanização gera o aumento de superfícies impermeáveis que conseqüentemente aumenta o escoamento superficial. Estima-se que uma área florestal absorve 95% da água superficial, enquanto em centros urbanos esse número cai para 5%. O uso de pavimentos permeáveis em calçadas, vias e estacionamentos pode diminuir o escoamento superficial em até 100%, diminuindo os impactos causados pela urbanização.

O pavimento permeável deve possuir um coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s. Este coeficiente deve ser avaliado em laboratório podendo ensaiar apenas a camada de revestimento ou o revestimento juntamente com toda estrutura do pavimento, entretanto esta avaliação serve apenas para aprovação preliminar, posteriormente deverá ser ensaiado no campo, após execução do pavimento (ABNT NBR 16416, 2015).

O revestimento permeável deve atender às especificações do Quadro 3 conforme apresentado pela ABNT NBR 16416:2015.

Quadro 3 – Resistência mecânica do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (Mpa)
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego leve	60,0	$\geq 35,0^a$
	Tráfego pesado	80,0	
Peça de concreto permeável	Tráfego leve	60,0	$\geq 20,0^a$
	Tráfego pesado	80,0	
Placa de concreto permeável	Tráfego leve	60,0	$\geq 2,0^b$
	Tráfego pesado	80,0	
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$
^a Determinação da resistência à compressão, ABNT NBR 9781 ^b Determinação da resistência à flexão, ABNT NBR 15805 ^c Determinação da resistência à tração na flexão, ABNT NBR 12142			

Fonte: Adaptado de NBR 16416 (2015).

1.3.2.1 Pavimento intertravado

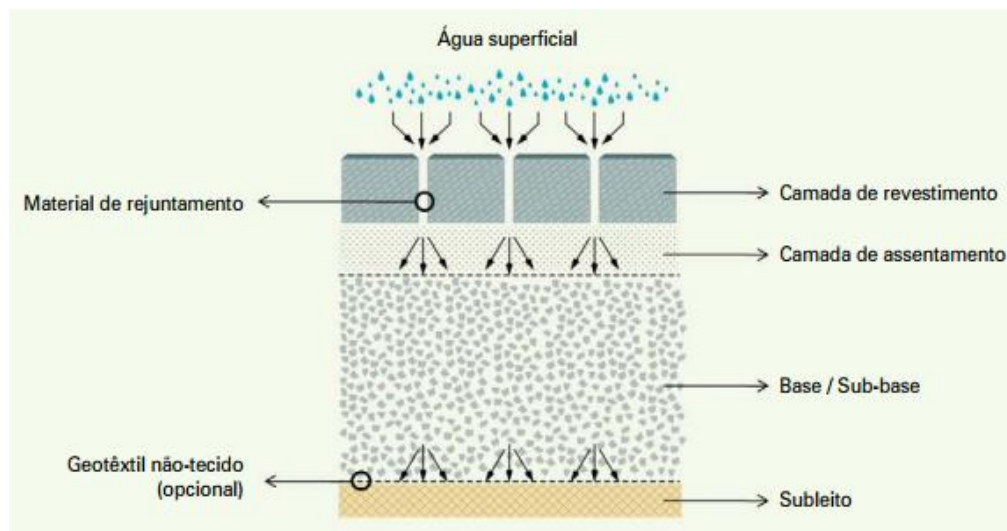
Os revestimentos intertravados podem ser constituídos por peças de concreto com juntas alargadas, peças de concreto com áreas vazadas e peças de concreto permeável (ABNT NBR 16416, 2015).

A permeabilidade desse tipo de pavimento ocorre através da infiltração da água superficial entre as peças, conforme Figura 7.

Segundo a ABNT NBR 16416:2015 a espessura mínima do revestimento intertravado deverá atender as seguintes solicitações:

- Tráfego de pedestres: espessura mínima é 60mm;
- Tráfego leve: espessura mínima é 80 mm.

Figura 7 - Seção do sistema de infiltração do pavimento intertravado



Fonte: MARCHIONI E SILVA, 2011.

A ABNT NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – especifica os blocos de acordo com sua resistência à compressão, 35 Mpa ou 50 Mpa. Os blocos de resistência inferior são utilizados em locais de trânsito leve, médio e pesado, já os de 50 MPa são usados em pisos que tem desgastes por atrito, como pátios de indústria e minerações.

De acordo com a NBR 16416 os pavimentos intertravados são classificados em:

- Peças de concreto com juntas alargadas (Figura 8)

Figura 8 – Pavimento intertravado com juntas alargadas



Fonte: ABCP, 2010.

- Peças de concreto com áreas vazadas (Figura 9)

Figura 9 – Pavimento constituído por peças de concreto com áreas vazadas



Fonte: ABCP, 2010.

- Revestimento de peças de concreto permeável (Figura 10)

Para as peças de concreto permeável, a resistência mecânica a compressão deverá ser maior que 20 Mpa (ABNT NBR 16416, 2015).

Figura 10 – Revestimento de peças de concreto permeável



Fonte: DÁVILA, 2015.

1.3.2.2 Pavimento de concreto permeável

Segundo a ABNT NBR 16416:2015, o pavimento de concreto permeável é aquele em que a percolação de água ocorre pelo concreto. Podem ser classificados em dois: em placas de concreto permeável (Figura 11) e o concreto permeável moldado no local (Figuras 12).

Figura 11 - Revestimento de pavimento de placas de concreto



Fonte: DÁVILA, 2015.

Figura 12 – Pavimento revestido com concreto permeável moldado no local



Fonte: DÁVILA, 2015.

1.4 Concreto permeável moldado no local

A aplicação do concreto permeável, também conhecido como concreto poroso, em pavimentos não substitui o sistema de drenagem urbana, apenas o auxilia através o controle do escoamento superficial (LAFARGE, 2014). A Figura 13 ilustra uma amostra de concreto permeável. Este tipo de revestimento deve permitir 100% da percolação da água da chuva (ABNT NBR 16416, 2015).

Figura 13 – Concreto permeável

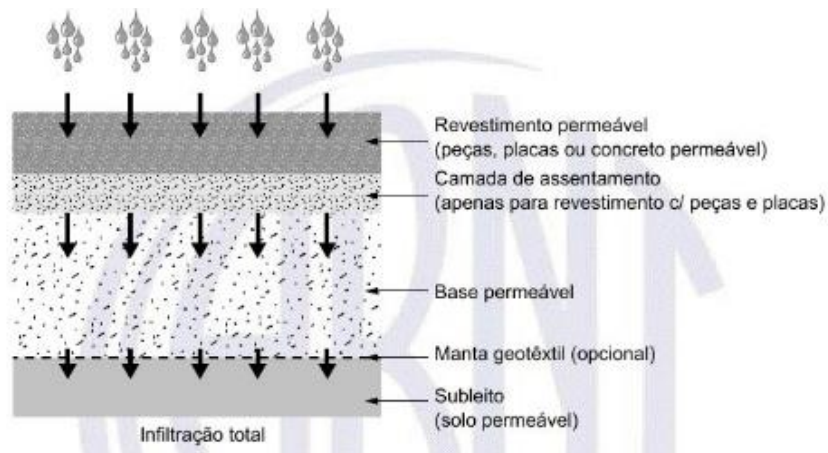


Fonte: Romero, 2016.

Existem três tipos de sistema de infiltração de água precipitada para este concreto permeável, sendo infiltração total, infiltração parcial e sem infiltração (ABNT NBR 16416, 2015).

O sistema de infiltração total consiste que toda água precipitada de chuva chega ao subleito e infiltra no mesmo conforme Figura 14.

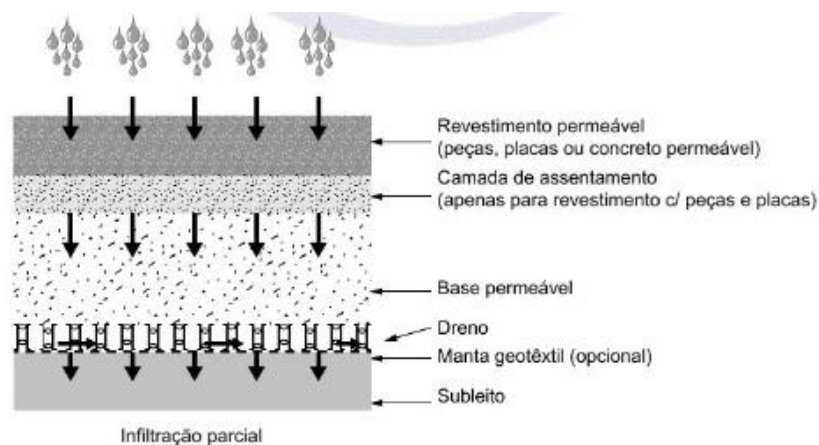
Figura 14 – Exemplo de pavimento com infiltração total



Fonte: NBR 16416, 2015.

Quando parte da água precipitada atinge o subleito e se infiltra, uma parte dessa água fica armazenada por um tempo na estrutura permeável e depois é removida pelo dreno, este sistema é chamado de sistema de infiltração parcial (Figura 15).

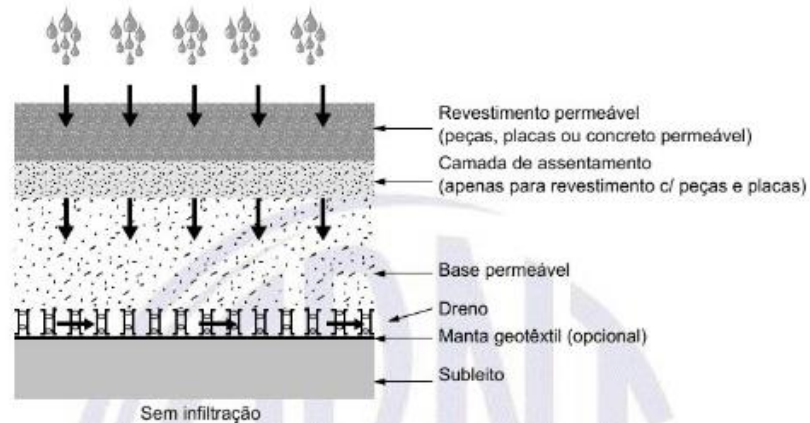
Figura 15 – Exemplo de pavimento com infiltração parcial



Fonte: NBR 16416, 2015.

O terceiro sistema é o que não ocorre a infiltração, ou seja, a água precipitada fica armazenada na estrutura permeável e não se infiltra no subleito, ela é removida pelo dreno inserido, conforme Figura 16.

Figura 16 – Exemplo de pavimento sem infiltração



Fonte: NBR 16416, 2015.

1.4.1 Traço e cura

O traço do concreto permeável poroso é o mesmo que concreto convencional como apresentado no Quadro 2 no item 1.2.3 - Concreto permeável.

A cura exerce papel importante na resistência à tração na flexão. O Processo de cura do corpo de prova deve seguir as recomendações da ABNT NBR 5738:2015. Esta norma estabelece que os corpos de prova devem ser mantidos em locais planos e protegidos de impactos ou movimentos que prejudiquem a sua integridade, por um período mínimo de 24 ou 48 horas, dependendo se o formato é cilíndrico ou prismático respectivamente. Quando a cura é realizada com o objetivo de verificar a qualidade e a uniformidade do concreto, conforme o intuito deste trabalho, os corpos de prova 35 podem ser mantidos em câmara úmida ou tanque de água com temperatura controlada de aproximadamente 25 °C (BATEZINE, 2013).

1.4.2 Aplicações

De acordo com Lafarge (2014) o concreto permeável tem diversas aplicações, pavimentos em vias de baixo volume de tráfego, estacionamentos, pátios de carga, ciclovias, calçadas, *deck* de piscinas, jardins, quadras e etc.

Figura 17 – Aplicação de concreto moldado no local para um estacionamento



Fonte: Lafarge, 2014.

CAPÍTULO 2:

COMPARAÇÃO ENTRE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO E DE CONCRETO PERMEÁVEL MOLDADO NO LOCAL

Existem várias vantagens semelhantes entre o pavimento permeável de concreto, elaborado com peças de concreto de junta alargada e com as peças de concreto com áreas vazadas, e o concreto permeável/poroso moldado no local. Ambos necessitam da proteção do sistema de drenagem que possibilita a reutilização da água da chuva, realimentando o aquífero subterrâneo, além de atuar como filtro, impedindo que impurezas e metais pesados atinjam o lençol freático (MAZZONETTO, 2011).

Outra semelhança entre as peças de concreto de junta alargada ou de áreas vazadas, também conhecidas como Intertravado ou bloquete, e o concreto permeável/poroso moldado no local são suas possíveis aplicações. Eles podem ser utilizados em locais de tráfego leve, pois, como o principal objetivo é permitir a permeabilidade da água no solo e para maior permeabilidade, é preciso um maior volume de vazios e, portanto, haverá menos resistência. Logo neste tipo de pavimento, não existe nenhuma norma regulamentadora que o concreto permeável possa ser utilizado para tráfego intenso de veículos, principalmente veículos pesados.

De acordo com Batezini (2013) o pavimento com junta alargada ou áreas vazadas é mais irregular que o concreto poroso moldado no local possuindo mais depressões nas juntas e tendo, conseqüentemente, mais capacidade de retenção de água. A água que não é absorvida pelo material do piso se acumula e escoar pela superfície. A razão entre este volume escoado e o volume total de precipitação de uma área determinada é chamada de coeficiente de escoamento. O coeficiente de escoamento é a razão entre este volume que escoar sobre o volume total de precipitação em uma área estudada (LAFARGE, 2014).

Analisando-se o Quadro 4 é possível verificar que o coeficiente de escoamento do concreto poroso moldado no local é menor, sendo mais eficiente como medida auxiliar para controle de inundações.

Quadro 4: Coeficientes de escoamento das superfícies

Revestimento	Coeficiente de escoamento
Peça de concreto com junta alargada	0,60
Peças de concreto com áreas vazadas	0,03
Concreto poroso moldado no local	0,005

Fonte: Adaptado de Araújo, Tucci e Goldenfum (2000).

Outra diferença além do coeficiente de escoamento da superfície é a forma de percolação da água para o subleito. No concreto poroso moldado no local está a área corresponde a 100% da superfície, ou seja, pelo próprio concreto, já nas peças de juntas alargadas ocorre apenas nas juntas e nas peças de áreas vazadas, ocorre a percolação da água nas áreas livres (ABNT NBR 16416, 2015). Essa característica do concreto poroso moldado no local permite atingir um coeficiente de permeabilidade superior ao estipulado pela norma ABNT NBR 16416 (2015) de 1×10^{-3} m/s, e atingir o valor de 0,12404 m/s conforme anexo A - Ensaio de medição do coeficiente de permeabilidade fornecido pela LAFARGE.

A peça de concreto (juntas alargadas ou com áreas vazadas) e o concreto poroso moldado no local, ambos exigem de acordo com Lafarge (2014) e Araujo *et al.* (2000) cuidados, sendo o principal evitar a colmatação. Ela se dá principalmente por deposição de material particulado nos vazios da estrutura, preenchendo o caminho pelo qual a água percola, prejudicando o desempenho mecânico ou hidráulico do concreto, com o passar do tempo.

De acordo com ABNT NBR 16416:2015 devem ser executadas ações de limpeza com o objetivo de recuperar a capacidade de permeabilidade do pavimento. As etapas de limpeza recomendadas são: remoção de sujeiras e detritos em geral da superfície do pavimento por meio de varrição mecânica ou manual, aplicação de jato d'água sob pressão e aplicação de equipamento de sucção para a retirada de finos.

O acabamento no concreto permeável moldado no local é possível ser mais regular e homogêneo, com um aspecto fino e delicado (LAFARGE, 2014), do que as

peças de concreto vazadas e/ou as peças de juntas alargadas que são mais irregulares.

Com relação ao custo de execução (incluindo material) entre o concreto poroso moldado no local e as peças de concreto, o primeiro está entre R\$ 50,00 e R\$ 60,00 o metro quadro aplicado (LAFARGE, 2015), a peça de concreto de acordo com o DER (2015, p.60) custa R\$ 31,68 o metro quadrado aplicado. Apesar do concreto moldado no local ser mais caro, o custo benefício dele é maior e a velocidade de aplicação também (LAFARGE, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do concreto permeável moldado no local junto com sistemas de drenagens gera inúmeras vantagens, porém sua aplicação é delimitada, apenas para tráfego de pedestres e leve. Viabiliza a redução de enchentes e enxurradas uma vez que as águas das chuvas são absorvidas mais rapidamente pelo solo, permite o abastecimento de lençóis freáticos presentes debaixo das cidades, além de contribuir para a preservação dos rios e redução do gasto com água, já que a água que se infiltra pelo concreto pode ser armazenada e utilizada posteriormente.

Apesar da necessidade da responsabilidade ambiental e de construções sustentáveis, principalmente em tempos que ocorrem crises hídricas, a adoção desse tipo de concreto ainda não é muito utilizada por parte dos construtores por falta de um incentivo maior do governo. Algumas legislações municipais estão mais exigentes em relação à infiltração e permeabilidade na pavimentação de terrenos e este tipo de pavimento atende muito bem.

Por ser um material cuja utilização ainda é pouco difundida, é recomendável a realização de novas pesquisas para verificar as possíveis aplicações do material, além do tráfego leve.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR16416**: informação e documentação, referências, elaboração. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781** – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira de Cimento Portland. **Melhores práticas pavimentos permeáveis e peças pré-fabricadas de concreto**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.oterprem.com.br/site/reportagens/Melhores%20Pr%C3%A1ticas%20par%20Pavimento%20Intertravado%20Perme%C3%A1vel.pdf>> Acesso em: 10 dez, 2016.

ARAUJO, Paulo R. de; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDEFUM, Joel A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41234931/artigo10.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1485451001&Signature=Ma%2B03%2BrJXzyoksWJ6i7dmHck2fU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAvaliacao_da_eficiencia_dos_pavimentos_p.pdf>. Acesso em 10 dez, 2016.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimento para áreas de veículos leves**. Dissertação de mestrado de Engenharia de Transpores apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. 133 f. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/>>. Acesso em: 07 dez, 2016

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2008.

DA SILVA, Gildasio R. **Manual de Traços de Concreto**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1975. 113p.

DÁVILA, Eduardo. **Pavimentos permeáveis de concreto**. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/338998094/ABNT-NBR-16416-Pavimentos-Permeaveis-de-Concreto>>. Acesso em 10 dez, 2016.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DE MINAS GERAIS. **MG 010**. Disponível em: <http://images.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.der.mg.gov.br%2Fimages%2Fstories%2Fder_imagens%2Flinha_verde_morro_alto.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.der.mg.gov.br%2Fcomponent%2Fcontent%2F180%253Ftask%253D>

view&h=809&w=1075&tbnid=yY_0xyUwxlbLM%3A&vet=1&docid=c8tGuVTtoOdRZTM&ei=LGpMWLPEOMzywASY_LSQAg&tbnid=isch&iact=rc&uact=3&dur=744&page=0&start=0&ndsp=16&ved=0ahUKEwizivD4v-rQAhVMOZAKHRg-DSIQMwgdkAEwAQ&bih=589&biw=1366>. Acesso em: 06 dez, 2016

_____. **Tabela Referencial de Preços para Obras Rodoviárias, 2015.** Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br/images/2015/Custos/tabela%20referencial%20de%20preco%20de%20obras%20rodovirias%20-%2031-01-2015.pdf>>. Acesso em: 25 jan, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Taxa de ocupação.** 2010. Disponível em: <(http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=4&op=1&vcodigo=PE63&t=taxa-ocupacao)>. Acesso em 15 dez, 2016.

LAFARGE. **Dossiê técnico do concreto poroso para pavimentos permeáveis "Hydromedia"**. Rio de Janeiro, 13, out., 2014. 21 p.

MARCHIONI, Mariana L.; SILVA, Cláudio O. **Sistemas construtivos – Pavimentos permeáveis: melhores práticas pavimento intertravado permeável.** São Paulo: ABCP, 2011. 24 p. Disponível em: <http://ninamartinelli.com.br/downloads/cartilha_pav_intertravado_permeavel.pdf>. Acesso em: 07 dez, 2016.

MARQUES, Geraldo Luciano O. **Pavimentação – TRN 032.** Juiz de Fora: UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora. 2015. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2015/05/Aulas-1%C2%BA-TVC.pdf>>. Acesso em: 05 dez, 2016.

MAZZONETTO, Caroline. **Concreto Permeável.** Pini, 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/concreto-permeavel-alternativa-para-aumentar-a-permeabilidade-de-pavimentos-254488-1.aspx>>. Acesso em 25 jan, 2017.

PEREZ, Fernanda Trigueiro *et al.* **Estudo da aplicação do concreto permeável moldado in loco na pavimentação de calçadas urbanas.** Monografia do curso de Engenharia Civil da Universidade Fumec, 73p. Disponível em: <file:///C:/Users/User02/Downloads/T%20356%20TFC%20DEZ2015%20%20(3)%20(1)%20(1).pdf >. Acesso em 20 jan, 2017.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Concreto de cimento Portland.** 8. Ed. Globo, 1981.

PINTO, Luiza Helena; PINHEIRO, Sérgio Avelino. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** 2006. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>. Acesso em: 05 dez, 2016.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto Simões. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: IBP, 2001.

ROMERO, José Roberto. **Concreto poroso**. 2016. Disponível em: <<http://www.neomixconcreto.com.br/noticia.php?acao=135>>. Acesso em 20 jan, 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2007.

TENNIS, P.D.; LEMING, M. L.; AKERS, D J. **Previous concrete pavements, Portland Cement Association, Skokie, Illinois e National Ready Mixed Concrete Association, Maryland, USA**. 2004. 36p. Disponível em: http://myscmap.sc.gov/marine/NERR/pdf/PerviousConcrete_pavements.>. Acesso em: 10 dez, 2016.

TUCCI, Carlos. E. M. **Controle de impacto da urbanização - Drenagem urbana**. Porto Alegre. Coleção ABRH de recursos hídricos, v5, 1995.

_____. E. M. **Gestão das Inundações**. Porto Alegre. 2005. Disponível em: <<http://amazonia.fiocruz.br/arquivos/category/56-especializacaoemsaudeambiental?-download=12032013-06-24-13-02-01>>. Acesso em: 04 dez, 2016.

_____. E. M. **Inundações urbanas - Drenagem urbana**. Porto Alegre. Coleção ABRH de recursos hídricos, 2007.

VAZ, Valéria Borges. Drenagem Urbana. **Comitê Pardo - Boletim Informativo**. Santa Cruz do Sul-RS, n.5, Ano VI, maio 2004. (Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Comitê Pardo). Disponível em: <http://www.comitepardo.com.br/boletins/2004/boletim05-04.html>. Acesso em 06 maio, 2017.

SUDERHSA. **Medidas não estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba**. CH2MHILL Engenharia do Brasil Ltda. 2002.

ANEXOS

ANEXO A – Ensaio de medição do coeficiente de permeabilidade



Título:

**RELATÓRIO DE TESTE DE VAZÃO NA PERMEABILIDADE
PARA CONCRETO PERMEÁVEL HYDROMEDIA – MÉTODO
LAFARGE**

RELATÓRIO TÉCNICO N°. 0718-13_R00

Página 1 / 5

Modelo do documento: FOR-LAB-034
Última revisão: 05/02/2013 - Versão: 2

**“Teste de Vazão na Permeabilidade para concreto permeável Hydromedia”
-Método Lafarge Centre de Recherche - LCR-**

Ciente: Central Beton Ltda

Obra: Hidromédia

Belo Horizonte / MG

OUTUBRO / 2013

Pedrosa e Nascimento Eng. Cons. Soc. Simples Ltda - Rua Niágara 249, Jardim Canadá, Nova Lima, MG

Cep: 34.000.000 – CNPJ: 65.148.819/0001-46 – Tel: (31) 3581-3458

1. VAZÃO NA PERMEABILIDADE:

1.1 OBJETIVO:

O presente trabalho objetiva determinar através de teste com metodologia da LCR, a altura da coluna de água que passa através do Hydromedia em uma determinada unidade de tempo. Com isso, é possível calcular que volume de água, em litros, passante por cada metro quadrado de pavimento executado com Hydromedia, em um minuto.

HYDROMEDIA – Concreto permeável para pavimento.

1.2. METODOLOGIA LCR

- Instala-se um corpo de prova cilíndrico com hydromedia a ser analisado com dimensões 10x20cm no aparelho;
- Mantém-se uma coluna d'água, aproximadamente constante, usando o ladrão do aparelho;
- Mede-se o tempo em que uma quantidade de água passa através da amostra;
- Pesa-se a água que passou pela amostra, no tempo medido;
- Calcula-se o resultado, ponderando-se pelas dimensões do corpo de prova.

$$K = ((4*L)/(\pi*H*D^2)) * (M/T)*10^6$$

Sendo:

K – Vazão na permeabilidade (mm/s)
L – Altura do corpo de prova (mm)
D – Diâmetro do corpo de prova (mm)
H – Altura da coluna d'água (mm)
M – Massa de água coletada (kg)
T – Tempo de fluxo da água (s)

