

## CONCRETO PERMEÁVEL PARA PAVIMENTAÇÃO

Gabriel Gomes de Araújo (IC) e Simão Prizskulnik (Orientador)

**Apoio: PIBIC Mackenzie**

### RESUMO

Este estudo teve por objetivo analisar a aplicabilidade de concretos permeáveis para uso como camada de revestimento de pavimentos em áreas para veículos leves, a fim de reduzir os problemas causados pelo desenvolvimento urbano acelerado que ocasionou o aumento de áreas impermeáveis nos grandes centros. Foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização mecânica e hidráulica para comprovar sua aplicabilidade e eficiência. A caracterização mecânica foi realizada com base em ensaios de resistência à tração na flexão, tração indireta por compressão diametral e compressão axial. As propriedades mecânicas foram testadas em placas de concreto permeável simulando a solicitação de carga de um veículo utilitário leve. O material estudado apresentou valores de condutividade hidráulica na ordem de 0,17 cm/s, aproximadamente, caracterizando um material com boa drenabilidade. Com relação às características mecânicas, apresentou resistência à tração na flexão de aproximadamente 2,0 MPa, resistência à tração por compressão diametral de 1,4 MPa e resistência a compressão axial média de 9,0 MPa, sendo esses valores aproximadamente a metade dos valores normalmente observados em concretos convencionais de uso corrente na pavimentação.

**Palavras-chave:** Concreto Permeável. Pavimentação. Permeabilidade.

## **ABSTRACT**

This study aimed to analyze the applicability of pervious concretes as a layer of pavement in areas for light vehicles in order to reduce the problems caused by the accelerated urban development that promoted the increase of impermeable areas in the large centers. Laboratory tests of mechanical and hydraulic characterization were carried out to prove its applicability and efficiency. The mechanical characterization was performed based on tests of tensile strength in bending, indirect traction by diametrical compression and compression. The mechanical properties were tested on pervious concrete plates simulating the load request of a light utility vehicle. The studied material presented values of hydraulic conductivity in the order of approximately 0.17 cm/s, characterizing a material with good drainage. Regarding the mechanical characteristics, it presented flexural tensile strength of approximately 2,0 MPa, tensile strength by diametrical compression of 1.4 MPa and average resistance to axial compression of 9.0 MPa, approaching half of the values normally observed in conventional concrete commonly used in paving.

**Keywords:** Pervious concrete. Paving. Permeability

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução do processo de urbanização no Brasil ao longo do século XX se deu de maneira acelerada e desordenada, devido ao início do processo de industrialização e à criação de um mercado em escala nacional, influenciando a migração da população rural motivada pela busca de melhores condições de vida e trabalho oferecidas pelos novos centros.

Esse intenso fluxo migratório, que culminou no fenômeno da metropolização, trouxe consigo uma série de consequências para esses centros urbanos, em virtude da falta de planejamento e infraestrutura, tais como: poluição ambiental, elevação dos níveis de ruído, problemas de saneamento básico, enchentes e inundações devido à impermeabilização do solo, entre outros.

Ferguson (2005) apresenta dados obtidos a partir de medições realizadas nas áreas de Chesapeake Bay (CAPIELLA e BROWN, 2001) e Puget Sound nos EUA (Figura 1.1), referente à proporção de solo impermeabilizado por estruturas construídas em distritos urbanos, relacionando as áreas impermeáveis com diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

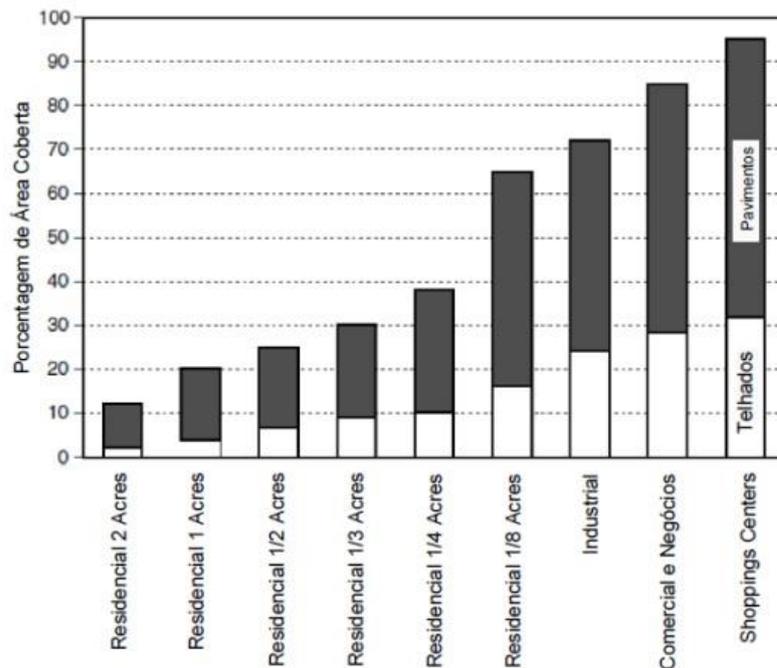


Figura 1.1. Porcentagem de áreas impermeabilizadas com relação aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo. (FERGUSON, 2005)

A Figura 1.2 apresenta a evolução das áreas impermeáveis em função da variação da densidade urbana baseada em dados obtidos nas cidades de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre.

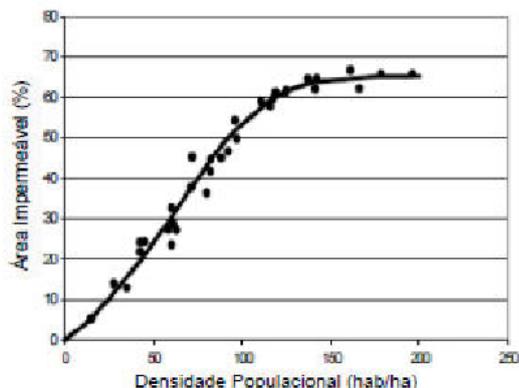


Figura 1.2. Evolução das áreas impermeáveis

Na Figura 1.3 está apresentada a relação entre o crescimento populacional e o aumento das ocorrências de inundações na cidade de Belo Horizonte (TUCCI, 2003).

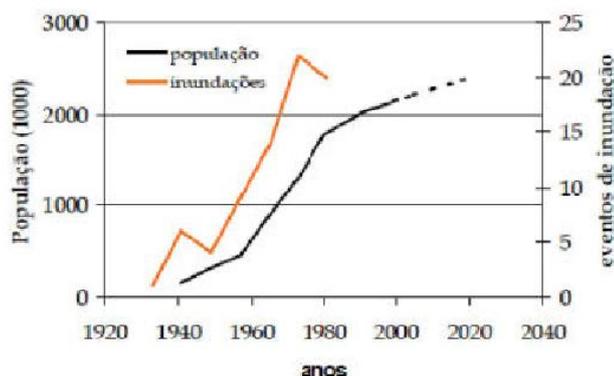


Figura 1.3. Evolução das ocorrências de inundação

Este aumento desenfreado das superfícies impermeabilizadas, devido ao desenvolvimento urbano, concomitantemente à apropriação indevida de margens de rios, ocasionou o aumento na ocorrência de enchentes e inundações.

Além disso, a condição de superfícies impermeáveis possui estreita relação com as alterações na qualidade das águas. Os poluentes e sedimentos que ficam depositados sobre tais superfícies acabam sendo transportados aos corpos d'água pelas águas das chuvas. Outros problemas, como erosão e assoreamento de rios, também podem ser causados, em parte, pela impermeabilização das superfícies, que gera escoamentos com maior volume e velocidade do que o escoamento em superfícies naturais (ESTEVES, 2006).

De acordo com Li (2009) o uso do concreto permeável teve início há mais de 150 anos, apesar de sua real aplicação para as mais diversas finalidades somente veio a apresentar grande avanço com os estudos da década de 70, principalmente nos EUA, como uma forma

de evitar aquaplanagem, reduzir ruído, ofuscamento do farol dos carros e efeito de spray – mas acabaram abandonados.

No final dos anos 1990 e início dos 2000, o concreto permeável reapareceu como uma tecnologia para ajudar na drenagem das cidades, retendo a água na fonte, impedindo-a de correr para córregos e reduzindo enchentes. Os países onde essa solução está mais disseminada são EUA, França e Japão, entre outros.

Atualmente, se tornaram atrativas as pesquisas sobre o comportamento mecânico e hidráulico do concreto permeável, uma vez que ele pode apresentar boa durabilidade e desempenho quando utilizado como revestimento de pavimentos para veículos leves, permitindo também, por sua capacidade drenante, lenificar os níveis de impermeabilização, agravados pela urbanização das cidades.

Os pavimentos que comportam esse tipo de mistura drenante são geralmente constituídos de duas camadas: uma composta por misturas asfálticas densas convencionais, e outra, que é o concreto asfáltico drenante propriamente dito. A camada drenante, que é objeto deste estudo, é assentada sobre a camada impermeável e permite o escoamento das águas pluviais pelos vazios comunicantes. Ao encontrar a camada impermeável, a água escoar devido às inclinações transversal da pista, reduzindo assim, a possibilidade de formação da lâmina d'água sobre a superfície de rolamento e aumentando a segurança no trânsito em dias de chuva.

O concreto permeável é composto por ligante hidráulico, material britado de graduação uniforme, água e pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Adicionalmente, pode-se utilizar uma combinação de diferentes tipos de adições e aditivos que possuem a finalidade de atribuir ao concreto melhor desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade.

No presente brasileiro, pouco se desenvolveu no campo de emprego do concreto permeável, igualmente com relação a sua performance em longo prazo, sendo que a quantidade de publicações encontradas sobre este tema é escassa. Portanto, tendo em vista as vantagens ambientais e econômicas viáveis, relativas à utilização deste material como revestimento de pavimentos para tráfego de veículos leves frente aos demais materiais disponíveis, nota-se a importância de formar um estudo mais acurado sobre o tema. Tal importância está relacionada com a capacidade que este tipo de estrutura permeável possui de atenuar a necessidade de sistemas de gestão de águas pluviais e também de lagoas de captação, diminuindo consideravelmente o custo de instalações referentes à drenagem dos pavimentos, colaborando de maneira mais competente na redução da impermeabilização e, isto posto, com a ocorrência de enchentes nas cidades.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O pavimento permeável é uma estrutura que propicia a passagem de água e ar ao longo de suas camadas. É um aparato urbano de infiltração que retém parte ou a totalidade do escoamento através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de brita, com graduação uniforme, construída sobre o subleito.

A água, quando captada pelo pavimento, pode ser conduzida para um reservatório e deste para um ponto de captação específico, ou simplesmente ser absorvida pelo subsolo, dependendo de sua capacidade permeável.

A sub-base e a base dos pavimentos permeáveis, constituídas de agregados com pouca quantidade de finos, atuam como um recipiente de coleta d'água, permitindo que o líquido seja estocado nos vazios dessas camadas.

### 2.1. Características do Concreto Permeável

Esse pavimento é caracterizado por possuir elevada porosidade e alta drenabilidade, dependendo da sua composição. Devido a essa capacidade de deixar a água infiltrar através de sua estrutura porosa, a utilização dessas estruturas, quando corretamente projetadas e implantadas, pode influenciar significativamente nas vazões de pico que ocorrem durante eventos de chuva em determinado local.

De acordo com Henderson et al. (2009), reduzindo-se a quantidade de agregado miúdo ou eliminando-o da mistura de concreto, o índice de vazios aumentaria para valores entre 15% e 30%. Portanto, a água oriunda das precipitações irá percolar através dos poros da placa de concreto, reduzindo consideravelmente a quantidade de escoamento superficial das águas pluviais.

As quantidades de ligante hidráulico e de água usadas na composição do concreto permeável são cuidadosamente controladas visando a obtenção de uma pasta que forme uma película espessa ao redor das partículas dos agregados.

#### 2.1.1. Massa específica

Ocorrem variações na massa específica e no índice de vazios em função da proporção relativa dos materiais que constituem a mistura, bem como do procedimento de compactação aplicado. A variação na massa específica se dá de 1.300 a 2.000 kg/m<sup>3</sup> (TENNIS et al., 2004).

### *2.1.2. Permeabilidade*

A condutividade hidráulica (ou coeficiente de permeabilidade) é um dos parâmetros de maior importância no concreto permeável e é definida como a taxa de infiltração da água através da estrutura. Tipicamente os valores da condutividade hidráulica em concretos permeáveis variam entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s (TENNIS et al., 2004). Bean et al., 2007, determinaram valores variando de 0,07 cm/s a 0,77 cm/s.

A permeabilidade também pode ser afetada ao decorrer do tempo, devido a incrustação de partículas finas nos poros do revestimento de concreto permeável, tendendo a diminuir com o passar do tempo, sendo necessários procedimentos de manutenção e restauração da permeabilidade com periodicidade máxima de seis meses, segundo Kuang et al. (2007).

## **2.2. Composição de materiais**

A produção do concreto permeável é feita com os mesmos materiais utilizados no concreto de cimento Portland convencional (CPP), tendo no cimento seu principal ligante. A diferenciação do CCP se dá pela quantidade muito reduzida ou nula de agregados miúdos.

Dependendo dos tipos de insumos disponíveis, as proporções dos materiais podem variar, sendo necessário realizar experimentações de dosagens em laboratório, visando chegar na dosagem racional.

### *2.2.1. Agregados*

Os agregados podem possuir curvas granulométricas uniformes (diâmetro único), sendo o diâmetro máximo utilizado de 19 mm, ou curvas descontinuas onde há variação do diâmetro do agregado oscilando entre 19 mm a 4,8 mm, 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm (TENNIS et al., 2004).

### *2.2.2. Aditivos*

Os aditivos utilizados são os mesmos empregados no CCP, sendo o comumente utilizados os aditivos redutores de água e principalmente retardadores de pega que, no caso do concreto permeável, ocorre muito rapidamente.

O concreto permeável no estado fresco tem por característica a elevada consistência, obtendo, normalmente, abatimento menor que 20 mm (ACI, 2006; TENNIS et al., 2004). O tempo útil de sugerido para trabalho é no máximo 60 minutos após a mistura dos materiais

com a água, podendo ser aumentado para cerca de 90 com o uso de aditivos retardadores de pega e das condições climáticas, ACI (2008).

### 3. METODOLOGIA

Para os estudos de caracterização hidráulica e mecânica foram elaboradas amostras prismáticas e cilíndricas. Os procedimentos de moldagem, ensaios de resistência e permeabilidade foram realizados no laboratório da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo, que disponibilizou suas instalações, mão-de-obra e materiais necessários para a confecção dos corpos de prova.

#### 3.1. Caracterização dos Materiais

##### 3.1.1. Agregados graúdos

Foram utilizados agregados graúdos de origem granítica, previamente peneirados e separados em frações relativas ao seu diâmetro. A distribuição granulométrica, com diâmetros variando de 4,8 mm a 12,5 mm, é apresentada na Tabela 1:

Abertura das peneiras (mm)	Parcelas retidas em cada peneira (g)		Porcentagens retidas individuais (%)			Porcentagens retidas acumuladas (%)
	1ª determ.	2ª determ.	1ª determ.	2ª determ.	média	
12,5	0	0	0	0	0	0
9,5	95	93	6,24	6,11	6	6
6,3	490	488	32,22	32,06	32	38
4,75	200	180	13,15	11,83	12	51
2,36	276	274	18,15	18,00	18	69
1,18	135	145,00	8,88	9,53	9	78
0,600	90	100,00	5,92	6,57	6	84
0,300	55	57	3,61	3,74	4	88
0,150	55,00	60	3,62	3,95	4	92
Fundo <0,150	125	125	8,21	8,21	8	100
Total	1521	1522	100	100	100	468
<b>Dimensão máxima do agregado (Dmax) = 12,5 mm</b>						
<b>Módulo de finura (MF) = 4,68</b>						

Tabela 1. Distribuição granulométrica dos agregados

##### 3.1.2. Cimento

O cimento utilizado foi o CPIII 40 RS produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), normatizado através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sob

número NBR 5735. Sua produção industrial é feita através da moagem do clínquer e escória de alto-forno.

### 3.2. Dosagem do Concreto Permeável

Para o estudo foram elaborados três traços com variações no diâmetro máximo dos agregados, visando determinar a variação dos parâmetros de resistência mecânica e permeabilidade.

Foi realizado o peneiramento do agregado graúdo, através de um peneirador elétrico com peneiras de aberturas: 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm e 4,8 mm.

A dosagem para cada mistura foi definida através da revisão da literatura e de maneira empírica, devido a não existir um procedimento específico documentado para dosagem do concreto permeável, visando avaliar a variação de parâmetros de resistência mecânica e permeabilidade em função dos diferentes diâmetros de agregados. Foram elaborados três traços com variações de diâmetros, de acordo com a Tabela 2:

Traços	Porcentagem de material retido (%)		
	12,5 a 9,5 mm	9,5 a 6,3 mm	6,3 a 4,8 mm
T1	0	100	0
T2	0	50	50
T3	30	40	30

Tabela 2. Proporção de variação dos diâmetros de agregado graúdo

O consumo de cimento de agregado graúdo utilizados foram de 516,17 kg/m<sup>3</sup> e 1.806,60 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, sendo uma proporção cimento/ agregado de 1:3,5. A relação água/cimento foi definida em 0,35.

Foram definidos estes valores de acordo com o trabalho de McCain e Dewoolkar (2009), onde obtiveram valores de resistência a compressão a cerca de 10 MPa e condutividade hidráulica de 0,5 cm/s, mantendo constantes os consumos de materiais e a/c.

A ordem de mistura dos materiais se basearam nas conclusões de Schaefer et al. (2006), onde foi estabelecido o seguinte processo (figura 3.2):

- a) Adição de todo agregado a betoneira com mais 5% da massa total do cimento;
- b) Misturar por 1 minuto;
- c) Adicionar os materiais restantes;
- d) Repousar a mistura por 3 minutos;
- e) Misturar por mais 2 minutos.



Dosagem do concreto – Figura 3.2

### 3.3. Moldagem dos Corpos de Prova

A compactação por golpes de haste de bastão metálica foi feita visando o melhor adensamento das amostras e melhora nas suas condições de resistência mecânica, sem prejuízo à condutividade hidráulica. Os corpos de prova cilíndricos foram compactados em 45 golpes por amostra, divididos em três camadas iguais. As amostras prismáticas foram adensadas em duas camadas iguais de 25 golpes de bastão.

Apesar do previsto em norma, NBR 7583, onde os corpos de prova prismáticos para ensaios de tração na flexão devem atender as dimensões de 150x150x50 mm, as amostras realizadas possuíam dimensões dos corpos de prova prismáticos de 100x100x40 mm, com objetivo de gerar economia no consumo de materiais. Para as amostras cilíndricas foram utilizadas as dimensões padrão de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura.

Foram moldados 30 corpos de prova cilíndricos, sendo 10 para cada mistura (figura 3.3.1). No caso das amostras prismáticas foram moldados 9 corpos de prova, sendo 3 para cada mistura. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas da mistura (figura 3.3.2) e curados em câmara úmida por 7 dias com umidade constante de 98%, de acordo com as instruções da NBR 5738 (ABNT, 1994).



Figura 3.3.1

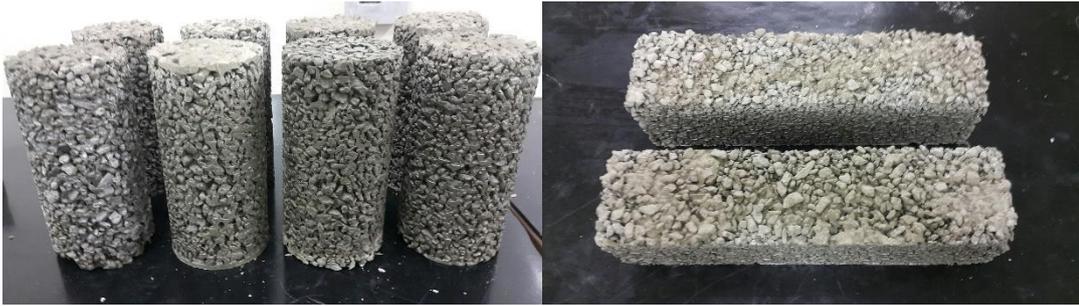


Figura 3.3.2

### 3.4. Ensaio de Caracterização Mecânica

Todos procedimentos para caracterização das propriedades mecânicas foram executados no laboratório de materiais de construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie, utilizando-se uma prensa hidráulica com capacidade de 60 t e de acordo com as recomendações das normas brasileiras (NBR). Foram realizados ensaios de tração na flexão, resistência a tração indireta por compressão diametral, resistência a compressão uniaxial.

Os ensaios de resistência a tração na flexão foram baseados na norma NBR 12142/ MB 3843, sendo a resistência a tração na flexão calculada pela equação 1:

Equação 1.

$$f_{\alpha,f} = \frac{F_u \cdot l}{b \cdot d^2}$$

onde:

$f_{\alpha,f}$ : resistência à tração na flexão (MPa);

$F_u$ : carga de ruptura (N);

$l$ : distância entre os cutelos de suporte (360 mm);

$b$ : largura média do corpo de prova na seção de ruptura (mm);

$d$ : altura média do corpo de prova na seção de ruptura (mm).

Os ensaios de tração por compressão diametral, foi realizado conforme a norma NBR 722 (ABNT, 1994), com resultados calculados conforme a equação 2:

Equação 2.

$$f_{\alpha,sp} = \frac{2 \cdot F_u}{\pi \cdot d \cdot L}$$

onde:

$f_{\alpha,sp}$ : resistência à tração por compressão diametral (MPa);

$F_u$ : carga de ruptura (N);

$d$ : diâmetro do corpo de prova (mm);

$L$ : altura média do corpo de prova (mm).

As resistências a compressão uniaxial foram ensaiadas através da norma NBR 5739 (ABNT, 1994), sendo calculadas pela equação 3:

Equação 3.

$$f_c = \frac{F_u}{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right)}$$

onde:

$f_c$ : tensão de ruptura à compressão (MPa);

$F_u$ : carga de ruptura (N);

$D$ : diâmetro do corpo de prova (mm).

### 3.5. Coeficiente de Permeabilidade

Para determinação da permeabilidade do concreto foi utilizado um permeâmetro com carga constante pertencente ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Foram ensaiados 4 corpos de prova de cada um dos três traços, sendo 12 no total. A amostra é posicionada na parte inferior do permeâmetro e libera-se o fluxo de água constante, dando início a cronometragem, sendo o tempo final o necessário para percolar 500 ml de água através do cilindro. O resultado é foi calculado através da equação 4:

Equação 4.

$$k = \frac{V \cdot L}{h \cdot A \cdot t}$$

Onde:

$k$ : condutividade hidráulica (cm/s);

$V$ : volume de água coletado (cm<sup>3</sup>);

$L$ : comprimento do corpo de prova (cm);

$h$ : carga hidráulica (cm);

$A$ : área da seção transversal da amostra (cm<sup>2</sup>);

$t$ : tempo decorrido para a coleta da água (s).

## 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Condutividade Hidráulica

Os resultados apresentados na Tabela 4.1 representam os valores médios de condutividade hidráulica das 12 amostras ensaiadas.

Traços	Condutividade hidráulica (cm/s)
T1	0,15
T2	0,22
T3	0,14

Tabela 4.1: Condutividade Hidráulica

Os resultados obtidos neste estudo se apresentam dentro da faixa da maioria dos autores que testaram o mesmo parâmetro, variando de 0,14 a 0,22 cm/s.

### 4.2 Resistência à compressão axial

A tabela 4.2 representa os resultados de compressão obtidos com rompimento em 28 dias. Os valores se encontram dentro da faixa verificada na revisão bibliográfica, onde a resistência varia entre 4,1 MPa e 55,8 MPa (figura 4.2).

Traços	Resistência à Compressão (MPa)			
	Resultados			Média
T1	8,3	7,4	10,1	8,6
T2	10,4	11,2	10,9	10,8
T3	7,1	8,5	7,3	7,6

Tabela 4.2: Resistência à Compressão



Figura 4.2 – Ensaio Compressão Axial

### 4.3 Resistência à Tração na Flexão

Estão apresentados na tabela 4.3 os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão, bem como a média e o desvio padrão. As amostras foram ensaiadas aos 28 dias (figura 4.3).

Resistência à Tração na Flexão (MPa)			
	T1	T2	T3
	2,1	1,6	2,2
	1,9	1,8	2
	2,0	1,7	1,7
	1,7	2	1,8
	2,3	1,9	2,5
	2,1	1,3	2,3
	1,8	2,1	2,1
	2,6	1,6	1,9
	2,4	1,5	2
<b>Média</b>	2,1	1,7	2,1
<b>Desvio padrão</b>	0,26	0,23	0,22

Tabela 4.3: Resistência à Tração na Flexão



Figura 4.3 – Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão variaram entre 1,5 e 2,6 MPa. No Brasil, comumente são utilizadas placas de concreto que variam de 4,5 a 5,0 MPa, portanto a utilização dos concretos permeáveis deste estudo possivelmente demandara a necessidade da implantação de revestimentos com espessuras não praticáveis.

#### 4.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de tração por compressão diametral ensaiadas aos 28 dias. Os valores variaram de 1,16 a 1.85 MPa, o que denota uma resistência reduzida quando comparado às resistências encontradas em concretos convencionais utilizados em pavimentação (figura 4.4).

Resistência à tração por compressão diametral (MPa)			
	T1	T2	T3
	1,45	1,88	1,55
	1,32	1,65	1,67
	1,21	1,68	1,32
	1,33	1,26	1,21
	1,12	1,74	1,65
	1,11	1,26	1,64
	1,08	1,55	1,29
	1,54	1,44	1,22
	1,23	1,32	1,12
<b>Média</b>	1,27	1,53	1,41
<b>Desvio padrão</b>	0,15	0,21	0,21

Tabela 4.4: Resistencia à Tração por Compressão Diametral



Figura 4.4 – Resistência à tração por compressão diametral

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os testes realizados neste trabalho de pesquisa, se pode concluir que os resultados dos ensaios destrutivos em corpos de prova de concreto permeável possuem maior variação de em relação as misturas de concreto

convencional, o que pode ser explicado pela variação no índice de vazios de cada corpo de prova. Entre as 3 misturas desenvolvidas, não houveram variações significativas dos resultados, não influenciando de maneira considerável as características dos concretos produzidos.

Os resultados dos testes de resistências mecânicas, apesar de estarem dentro das faixas de normalidade encontradas nas referências bibliográficas, mostraram valores muito inferiores às características de concretos usualmente utilizados para pavimentação.

As propriedades drenantes do material foram comprovadas, apresentando condutividades hidráulicas dentro das faixas de valores literários, possibilitando assim, com o emprego de certa quantidade de agregado miúdo e adições, a fim de melhorar suas propriedades mecânicas, a utilização do concreto permeável para os fins de drenagem.

Nesse trabalho foram avaliadas as propriedades mecânicas e hidráulicas de amostras elaboradas em laboratório. Devido aos benefícios econômicos e ambientais advindos de seu uso é indispensável a continuidade dos estudos de estruturas de pavimentos revestidas com concreto permeável, a fim de melhorar as propriedades mecânicas obtidas e avaliar as propriedades mecanicistas em placas de concreto permeável a fim de simular os efeitos de cargas de veículos leves.

## 6. REFERÊNCIAS

ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 473p., 2008

BEAN, Eban Z.; HUNT, William F.; BIDEISPACH, David A. Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, n. 3, p. 249-255, 2007.

CAPPIELLA, Karen; BROWN, Kenneth. Impervious cover and land use in the Chesapeake Bay watershed. *Watershed Protection Techniques*, v. 3, n. 4, p. 0\_1, 2001.

ESTEVES, Rafael Lucio. Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto. 2006.

FERGUSON, Bruce K. Porous pavements. CRC Press, 2005.

HENDERSON, Vimy; TIGHE, Susan; NORRIS, Jodi. Pervious concrete pavement: Integrated laboratory and field study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2113, p. 13-21, 2009.

KUANG, Xuheng et al. Particle separation and hydrologic control by cementitious permeable pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2025, p. 111-117, 2007.

LI, Jiusu. Mix design of pervious recycled concrete. In: *Performance Modeling and Evaluation of Pavement Systems and Materials: Selected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference*. 2009. p. 103-108.

MCCAIN, George; DEWOOLKAR, Mandar M. Strength and permeability characteristics of porous concrete pavements. In: *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*. 2009.

NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994, 9p.

NBR 7583: Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico. Rio de Janeiro, 1986, 22p.

SCHAEFER, Vernon R. et al. Mix design development for pervious concrete in cold weather climates. 2006.

TENNIS, Paul D.; LEMING, Michael L.; AKERS, David J. *Pervious concrete pavements*. Skokie, IL: Portland Cement Association, 2004.

TUCCI, Carlos EM et al. *Inundações urbanas na América do Sul*. Ed. dos Autores, 2003.

**Contatos:** ggar89@gmail.com e simao.prizskulnik@mackenzie.br