

Avaliação do Desempenho Mecânico e Índice de Permeabilidade de Concretos Porosos com Substituição de Agregado Graúdo por Miúdo

Gabriela da Silva Cabral¹; Filipe Bittencourt Figueiredo²

¹Discente do curso de Engenharia Civil da UFGD – Dourados; ²Docente do curso de Engenharia Civil da UFGD - Dourados
gabrielacabral100@hotmail.com¹; filipefigueiredo@ufgd.edu.br²

RESUMO - Decorrente do crescimento urbano, a impermeabilização do solo contribui para o aumento de inundações e enchentes, provocando prejuízos e transtornos à população. A fim de minimizar essa problemática, o pavimento de concreto permeável atua como um sistema de infiltração, drenando a água durante o percurso e reduzindo a vazão de escoamento superficial. Porém, o concreto muito permeável possui resistência inferior ao concreto pouco permeável. Com o objetivo de melhorar o desempenho do concreto com alta porosidade, o presente trabalho realizou a substituição parcial do agregado graúdo por miúdo, sendo analisados os traços com 100% de brita e com substituição de 5 e 10% de areia, para a proporção 1:4 (cimento: brita) e fator água/cimento 0,35. Os dados foram satisfatórios, com resultados superiores aos estipulados pelas normas vigentes. O traço que se destacou foi com substituição de 10%, com resistência à tração na flexão 6,44% maior em comparação ao traço com 100% de brita.

Palavras-chave: Pavimento Permeável. Concreto Poroso. Drenagem Urbana.

ABSTRACT – Due to urban growth, the soil sealing contributes in an increase of inundations and flooding, causing losses and problems to the population. In order to minimize this problematic, the pervious concrete pavement acts as an infiltration system, draining water along the way and reducing surface runoff. However, the very pervious concrete has lower strength than the less pervious concrete. Aiming to improve the performance of high porosity concrete, the present work performed the partial replacement of the coarse aggregate by fine, being analyzed the traces with 100% gravel and the with replacement of 5 and 10% of sand, for the ratio 1:4 (cement: gravel) and water/cement factor 0,35. The data were satisfactory, with results superior to those stipulated by the current norms. The trace that stood out was replacement of 10%, with flexural tensile strength 6,44% higher than the trace with 100% gravel.

Keywords: Pervious Pavement. Porous Concrete. Urban Drainage.

1 INTRODUÇÃO

A crescente ocupação, a impermeabilização do solo, aliados a falta de planejamento ambiental em áreas urbanas alteram as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico. O resultado é o aumento das enchentes urbanas e o crescimento notável de inundações que ocasionam transtornos e prejudicam a população (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000).

Segundo o Boletim ACI 522R (2006) que faz uma análise e coletânea dos trabalhos sobre o concreto poroso, registra que em 1852 foi o primeiro ano a usar esse tipo de concreto na construção de duas casas no Reino Unido, o traço constituía-se em agregado graúdo e cimento. Posteriormente, esse concreto retornou após a Segunda Guerra Mundial, 1939 a 1945, pois deixou praticamente toda a Europa com a necessidade de moradia e, por isso, foi necessário adotar métodos de construção simples e de baixo custo, pois a mão de obra era escassa e onerosa. E então, nos anos 70 o concreto permeável incorporou outra utilidade, a de elevada permeabilidade.

Os pavimentos permeáveis como sistema de infiltração, que se apresentam como alternativas a permitirem uma redução do pico e dos volumes dos hidrogramas de escoamento superficial gerados, trazem também uma redução da carga poluente, além de favorecer a recarga quantitativa dos lençóis freáticos por infiltração (COUTINHO, 2011). E, segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), os pavimentos permeáveis podem ser de três tipos, sendo o pavimento de asfalto poroso, pavimento de concreto poroso e pavimento de blocos de concreto vazados preenchidos com material granular ou vegetação rasteira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a resistência mecânica e a permeabilidade de concretos permeáveis com substituição parcial do agregado graúdo por miúdo para utilização em estacionamentos e vias de tráfego leve.

2.2 Objetivo Específico

- Produzir concretos permeáveis com substituição parcial do agregado graúdo por agregado miúdo;
- Caracterizar o desempenho físico e mecânico dos concretos produzidos;
- Comparar as resistências tração na flexão e compressão axial com os critérios da NBR 16416:2015;

-Dentre os resultados, classificar o melhor traço para o pavimento de concreto permeável.

3 JUSTIFICATIVA

A atividade antrópica provoca impactos e alterações no meio ambiente. E, assim aumenta a frequência de inundações que promove problemas sociais e econômicos, como a destruição da infraestrutura da cidade, feridos e desabrigados. A ocupação desordenada, a falta de planejamento e controle das áreas ocupadas e o solo cada vez mais impermeabilizado são algumas das causas das inundações e alagamentos (SILVEIRA; DIAS; SCHUCH, 2014).

O objetivo dos projetos, existentes nos grandes centros, contra inundações e alagamentos consiste em transferir a enchente para a jusante com a aceleração dos escoamentos, mas, ao invés de solucionar, apenas transferem os problemas para outra região (COUTINHO, 2011).

Uma alternativa para solucionar esses problemas é o pavimento de concreto permeável que permite a infiltração da água no solo. Portanto, aproveita-se a capacidade do solo em reter parte da água e diminui o escoamento superficial evitando as grandes vazões provocadas pelo sistema de drenagem urbano. Essa solução é internacionalmente utilizada e se demonstrou eficaz em países como Estados Unidos, Alemanha, Holanda, França, Bélgica, Espanha, Hungria, Venezuela, Austrália, Japão e Rússia, entretanto apesar de países tão desenvolvidos adotarem essa técnica, ainda há grande resistência à utilização por causa do desempenho mecânico ser inferior ao de um pavimento convencional (EVARISTO, 2016).

4 CONCRETO PERMEÁVEL

4.1 Definição e características

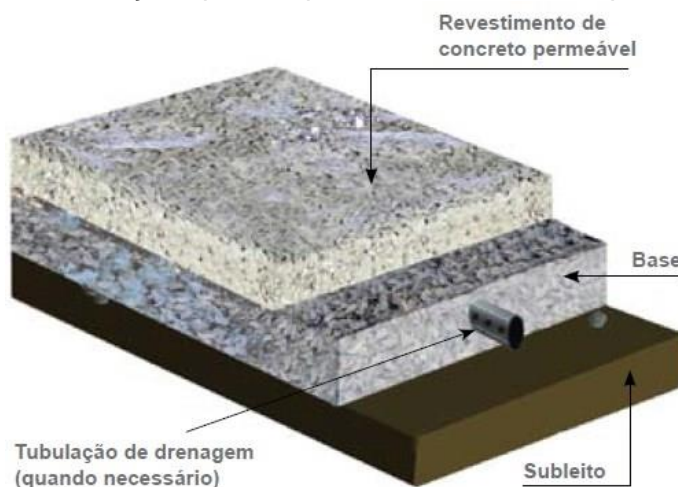
O concreto permeável ou poroso, também denominado concreto drenante ou concreto sem finos, é uma mistura de aglomerante, agregado graúdo e água preparada com pouco ou nenhum agregado miúdo. Caracterizado como um tipo especial de concreto com alto índice de vazios interligados, que pode efetivamente capturar e armazenar o escoamento de águas pluviais. Assim, pode ocorrer a infiltração de água no solo e, conseqüentemente o abastecimento de água subterrânea (BOTTEON, 2017).

O revestimento de concreto poroso deve conceder a rápida passagem de água, evitando acúmulo superficial e o escoamento aparente. Deve também assegurar que 100% da água superficial seja infiltrada em um determinado tempo, compatível com a

chuva da região, e fornecer um baixo nível do coeficiente de escoamento superficial. Dessa forma, diminuem-se as inundações e enchentes (MARCHIONI e SILVA, 2011).

A seção típica de um pavimento permeável é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Seção típica de pavimento de concreto permeável



Fonte: Marchioni e Silva, (2011).

A resistência é inversamente proporcional à permeabilidade, ou seja, quanto maior a permeabilidade do concreto menor será sua resistência (MONTEIRO, 2010). O principal objetivo do concreto convencional é possuir alta resistência à compressão e por isso se busca obter menores índices de vazios. Em contrapartida, o concreto poroso é feito para permitir a passagem de água através dos seus vazios e, conseqüentemente, a resistência é reduzida. Na Tabela 1 podem ser identificadas as principais diferenças entre o concreto poroso e o concreto convencional.

Tabela 1 - Comparativa entre concreto convencional e poroso

TIPO	Res. Compressão (MPa)	Areia	Brita	Aditivos
Convencional	20 a 60	De 30 a 50% de agregado total	Bem graduado, grãos cúbicos	Opcional
Poroso	3 a 30	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

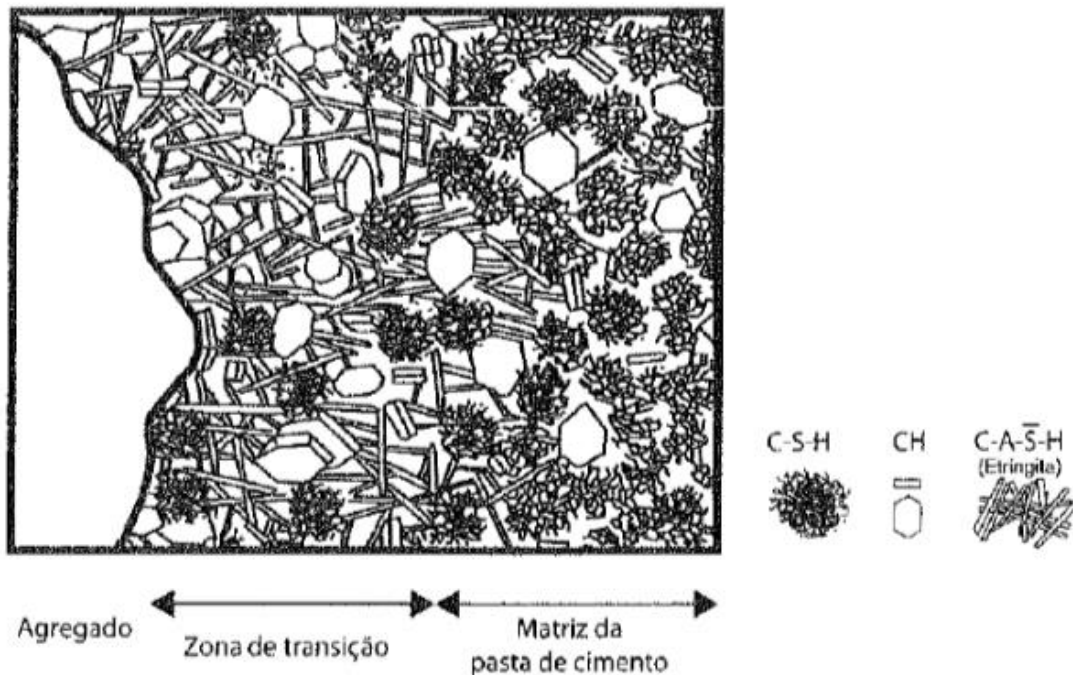
Fonte: Adaptado de Monteiro, (2010).

De acordo com a resistência requerida e a finalidade do projeto determina-se a quantidade de cada material. A porosidade apresenta uma desvantagem para o pavimento (a redução da resistência em relação ao concreto convencional), já demonstrada na Tabela 1. Porém, há a possibilidade de aumentar a resistência com o acréscimo de agregado miúdo em sua composição sem diminuir significativamente sua permeabilidade (FAGUNDES *et al.*, 2016).

Em 2015, foi lançada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 16416:2015 Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Com a criação de uma norma específica para essa técnica, além de assegurar a qualidade deste tipo de pavimentação, começam a surgir trabalhos como o de Fagundes *et al.* (2016) e apresentam critérios de comparação para os estudos de Höltz (2011) e Lamb (2014) que possuem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas e a permeabilidade de concretos permeáveis com substituição parcial do agregado graúdo por agregado miúdo, visando a sua maior aplicabilidade.

O concreto é composto por três fases, que apresenta a pasta de cimento, o agregado, e a zona de transição entre os dois, apresentado na Figura 2. Essas fases são compostas por silicato de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio ou portlandita (CH) e sulfoaluminato de cálcio ou etringita (C-A-S-H).

Figura 2 - Representação diagramática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento



Fonte: Mehta e Monteiro, (2008).

Os C-A-S-H são os primeiros cristais da pasta a serem formados, são muito porosos e possuem baixa resistência mecânica, são agulhas que se intertravam, prendem muita água e prejudicam a trabalhabilidade da pasta de cimento. Os CH possuem uma estrutura prismática e são cristais porosos com baixa resistência mecânica, bastante solúvel em água e quimicamente muito reativo. Os C-S-H são a fase ligante com estrutura fibrilar, são produzidos a partir da hidratação do cimento Portland e é o composto mais importante para a resistência mecânica e química do concreto. Dentre as fases do concreto, a zona de transição é caracterizada por ser o elo mais fraco, pois possui maior quantidade de C-A-S-H e CH, ao invés de C-S-H. É a presença dela que permite a ruptura do concreto em

níveis baixos de tensão quando comparada as demais fases (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A ciência dos materiais é importante para a definição do traço previsto em projeto e do fator água/cimento, pois as características dos agregados influenciarão nas propriedades do concreto como resistência, porosidade e trabalhabilidade. Com o aumento da resistência do concreto permeável na pavimentação, através da adição de agregado miúdo, sua aplicabilidade como um método de drenagem superficial pode aperfeiçoar os sistemas já existentes e trazer um conforto maior aos usuários da via, inibindo a formação de enchentes e mantendo a área útil do pavimento (AZEVEDO, 2017).

4.2 Problemas envolvidos e aplicação

Em Dourados - MS, as áreas que sofrem com as enchentes e inundações são as mais carentes (Figura 3), como nas margens do Córrego Rego D'água, principalmente no Jardim Clímax e Vila Cachoeirinha, os bairros Estrela Porã, Novo Horizonte, Parque do Lago II e no Jardim Caiman e as ocorrências revelam que as ações por parte dos governantes devem ser pautadas no controle e minimização do impacto, como o gerenciamento dos recursos hídricos juntamente ao planejamento urbano, de maneira a adotar os aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos (TAMPOROSKI *et al.*, 2012).

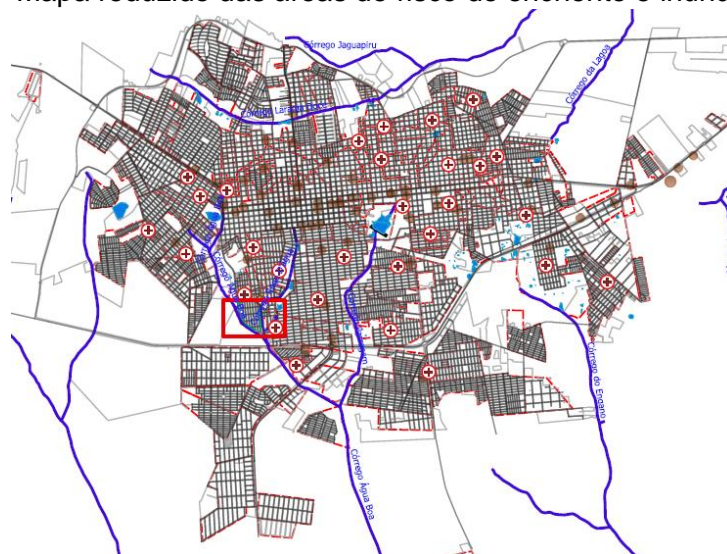
Figura 3 - Bairros de Dourados inundados em 2016



Fonte: Costa, (2016).

A Prefeitura de Dourados (2019) informou que a Defesa Civil, com o apoio da Universidade Federal da Grande Dourados, elaborou um projeto de mapeamento das áreas de risco de enchente e inundação, assim a pesquisa será instrumento para prevenir desastres e auxílio na tomada de decisões. O projeto foi apresentado no XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia e Física Aplicada. A Figura 4 mostra o mapa reduzido com enfoque na região do bairro Vila Cachoeirinha, marcado com um retângulo vermelho.

Figura 4 - Mapa reduzido das áreas de risco de enchente e inundação



Fonte: Souza, (2019).

Diferentemente da Europa, os Estados Unidos adotaram o método do concreto com alta porosidade em pavimentos para diminuir as consequências das inundações que o país sofreu com o desenvolvimento urbano, Figura 5(a). Os resultados satisfatórios resultaram no aumento dos fornecedores do material e na fundação de uma associação, a National Pervious Concrete Pavement Association (NPCPA¹). E o American Concrete Institute (ACI²) organizou uma competição anual em que os estudantes de graduação deveriam produzir concretos porosos, simples ou com adição de outro material, a fim de estimular a tecnologia (HÖLTZ, 2011).

Figura 5 - Pavimento Permeável: (a) nos EUA e (b) no Brasil



Fonte: (a) Cimentoitambe.com.br, (2017); (b) Duarte, (2014).

Já no Brasil, o primeiro teste do pavimento permeável foi realizado em uma rodovia no estado de São Paulo em um trecho de 250m, em 1992, mas somente em 2006 essa técnica foi utilizada em uma grande construção em Minas Gerais, o Parque Tecnológico de Belo Horizonte, Figura 5(b). Toda a pavimentação é em bloco de concreto vazado para

¹ Associação Nacional de Pavimento de Concreto Permeável

² Instituto Americano de Concreto

reduzir os riscos de inundações e alimentar as nascentes do parque (FINOCCHIARO e GIRARDI, 2017).

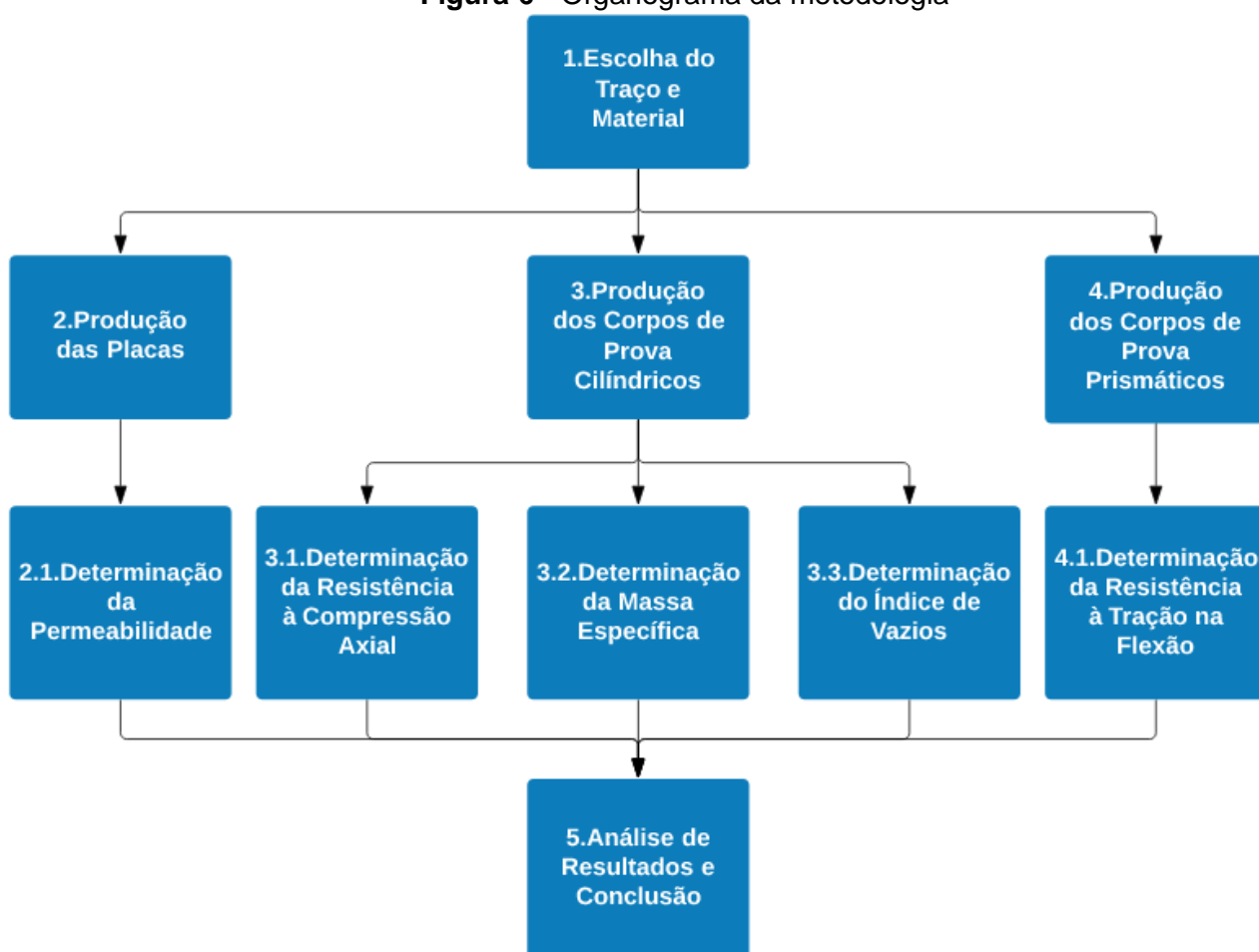
5 METODOLOGIA

5.1 Perspectiva da pesquisa

A pesquisa teve caráter experimental, ou seja, observou-se o fenômeno, analisaram-se as partes, formularam-se hipóteses, determinaram-se os métodos e submeteu-se o fenômeno à experimentação (LAKATOS e MARCONI, 2017).

O organograma, na Figura 6, mostra passo a passo a metodologia para adquirir os resultados.

Figura 6 - Organograma da metodologia



Fonte: Autor, (2019).

5.2 Procedimento

Através da revisão bibliográfica, foram definidos o traço e as porcentagens de substituição do agregado no concreto. Baseado no trabalho de Evaristo (2016) e com as informações de Höltz (2011), Lamb (2014) e Fagundes *et al.* (2016), foi escolhido o traço 1:4 (cimento: agregado graúdo) e fator água/cimento 0,35 como parâmetro. O Quadro 1 demonstra as informações retiradas das pesquisas.

Quadro 1 - Dados obtidos nos estudos de Hölzt (2011), Lamb (2014) e Fagundes *et al.* (2016)

Teores	Hölzt (2011)	Lamb (2014)	Fagundes <i>et al.</i> (2016)
Traços unitários	1:5	1:3	1:4
	1:7	1:3,5	1:5
	1:9	1:4	
Fator a/c	0,26	0,25	0,30
	0,30		
	0,35		
	0,45		
Traço unitário de melhor desempenho	1:5	1:4	1:4
Fator a/c de melhor desempenho	0,30	0,25	0,35

Fonte: Adaptado de Evaristo, (2016).

A escolha do traço foi determinada por uma análise do Quadro 1. Como o traço unitário de melhor desempenho nos estudos de Lamb (2014) e Fagundes *et al.* (2016) foi o mesmo, adotou-se então o traço 1:4. Por não haver um fator a/c que se repetisse entre os estudos, adotou-se a relação que mostrou melhor desempenho em teste no laboratório, 0,35.

As porcentagens de substituição do agregado graúdo por agregado miúdo foram definidas de acordo com a pesquisa de Fagundes *et al.* (2016). O Quadro 2 mostra quais análises foram feitas, a primeira sem agregado miúdo, a segunda com 5% e a terceira com 10% de substituição do agregado graúdo.

Quadro 2 - Determinação da substituição do agregado graúdo

Traço	Sigla	Traço unitário	Fator água/cimento
100% brita	S00	1:4	0,35
Substituição de 5%	S05		
Substituição de 10%	S10		

Fonte: Autor, (2019).

A NBR 16416:2015 estabelece os ensaios essenciais para a pesquisa e o presente trabalho realizou o ensaio de resistência à compressão axial para um conhecimento mais aprofundado do material produzido, para acrescentar informações a respeito desse método de pavimentação, pois a norma estipula como parâmetro somente a resistência à tração na flexão. O Quadro 3 demonstra as normas que foram seguidas para a realização dos ensaios.

Quadro 3 - Ensaio realizados de acordo com a norma

Ensaio	Título	NBR
Tração na flexão	Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos	12142:2010
Compressão axial	Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos	5739:2018
Permeabilidade	Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos	16416:2015 (Anexo A)
Massa específica	Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico	9833:2008
Absorção de água e índice de vazios	Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	9778:2005

Fonte: Autor, (2019).

Quanto à escolha dos materiais, utilizou-se o Cimento Portland com adição de material pozolânico (CP II – 32 - Z) Uso Geral, pois suas propriedades atendem ao concreto para pavimentos. Optou-se pela brita 0 (pedrisco) como agregado graúdo e a areia média como agregado miúdo. Em seguida foram realizados os ensaios, respeitando as normas do Quadro 3.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as informações obtidas durante a fase experimental, foi necessário criar uma relação entre os resultados obtidos e os parâmetros determinados pela norma NBR 16416:2015.

Os traços foram determinados de acordo com o Quadro 2. Dessa forma, as proporções foram estabelecidas da seguinte maneira, no Quadro 4.

Quadro 4 - Quantidade de cada material

Traço	Cimento (Kg)	Brita (Kg)	Areia (Kg)	Água (Kg)	Volume (L)
S00	42,5	170	-	14,875	90
S05	42,5	161	8,5	14,875	
S10	42,5	153	17	14,875	

Fonte: Autor, (2019).

A instabilidade da balança e o momento de lançamento do material na betoneira podem acarretar erros humanos, pois são etapas manuais. Prevendo essas perdas,

tolerou-se na balança $\pm 0,005$ Kg de cada componente e foi lançado com o máximo cuidado possível cada material para que não houvesse perda.

6.1 Caracterização física dos agregados

O resultado do ensaio de determinação granulométrica verifica a distribuição percentual dos diversos tamanhos de grãos, considerando a quantidade de material em massa, retido em cada peneira. O ensaio é composto por duas amostras, onde o resultado final é a média das porcentagens retidas e acumuladas entre as duas determinações.

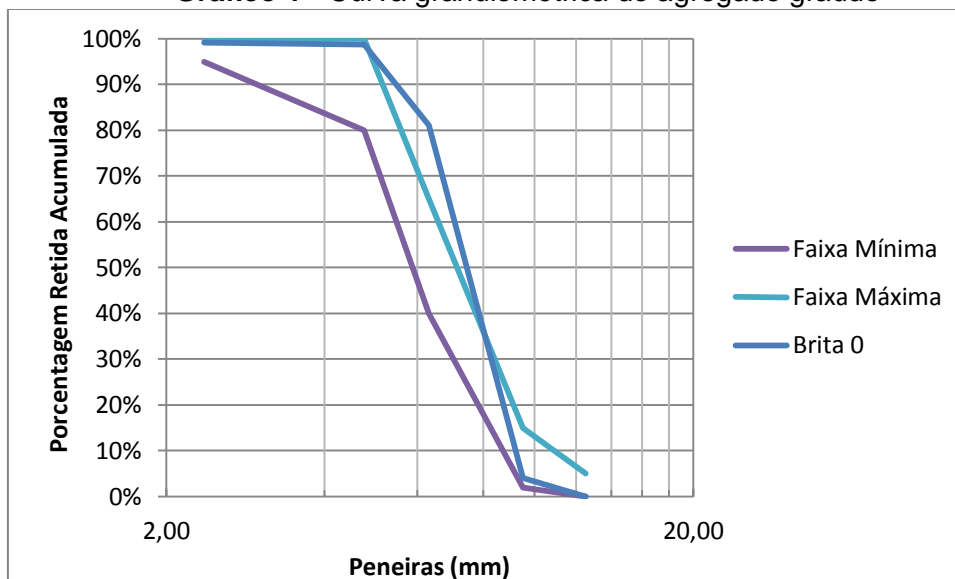
Os Quadros 5 e 6 mostram o resultado final e o módulo de finura das amostras de agregado graúdo e miúdo, respectivamente. E o Gráfico 1 apresenta a distribuição granulométrica do agregado graúdo, ensaiado com as tolerâncias da faixa 4,75/12,5 mm, e o Gráfico 2 a faixa de caracterização do agregado miúdo, ambos conforme NBR 7211:2009.

Quadro 5 - Composição granulométrica do agregado graúdo

Abertura da Peneira (mm)	Amostra 1			Amostra 2			Média		Módulo de Finura
	Massa Retida (g)	Porcentagem (%)		Massa Retida (g)	Porcentagem (%)		Porcentagem (%)		
		Retida	Acumulada		Retida	Acumulada	Retida	Acumulada	
19,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,50	0	0	0	0	0	0	0	0	-
9,50	96,66	4,4	4,4	76,78	3,6	3,6	4	4	4
6,30	1.703,68	76,8	81,2	1.639,96	77,3	81	77	81	-
4,75	389,29	17,5	98,7	374,57	17,9	99	18	99	99
2,36	8,59	0,4	99,1	8,48	0,4	99,2	0	99	99
1,18	7,45	0,3	99,4	4,67	0,2	99,4	0	99	99
0,60	2,48	0,1	99,5	3,18	0,1	99,5	0	100	100
0,30	1,44	0,1	99,6	3,18	0,1	99,6	0	100	100
0,15	1,88	0,1	99,7	2,55	0,1	99,7	0	100	100
Fundo	7,56	0,3	100	7,11	0,3	100	0	100	-
Total	2219,03	-	-	2120,48	-	-	-	-	6,01

Fonte: Autor, (2019).

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor, (2019).

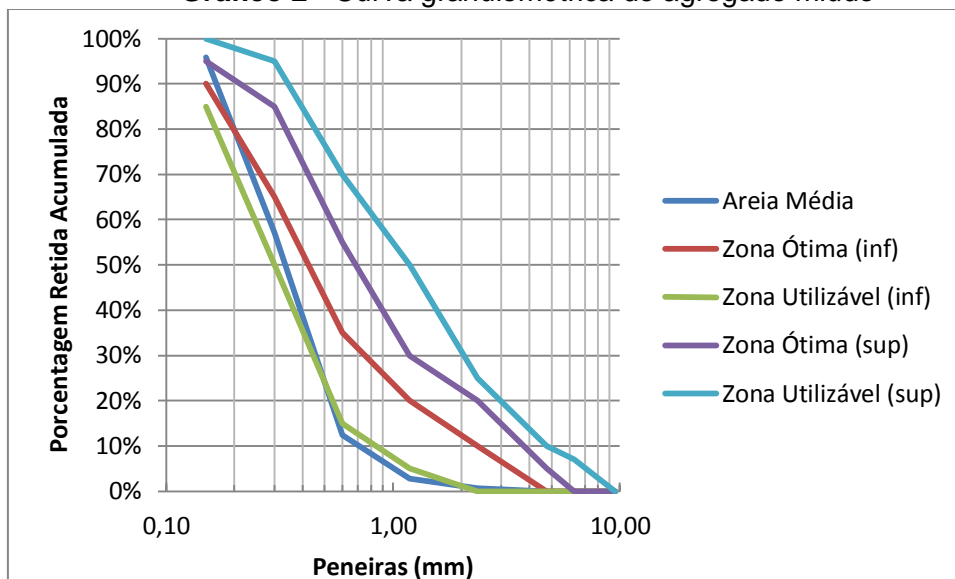
O diâmetro máximo característico (DMC) do agregado graúdo, determinado conforme a NBR NM 248:2003, foi igual a 9,50 mm.

Quadro 6 - Composição granulométrica do agregado miúdo

Abertura da Peneira (mm)	Amostra 1			Amostra 2			Média		Módulo de Finura
	Massa Retida (g)	Porcentagens (%)		Massa Retida (g)	Porcentagens (%)		Porcentagens (%)		
		R	A		R	A	R	A	
19,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,50	0	0	0	0	0	0	0	0	-
9,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,30	0	0	0	0	0	0	0	0	-
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	1,88	0,6	0,6	2,63	0,8	0,8	1	1	1
1,18	5,91	1,9	2,5	7,24	2,2	3	2	3	3
0,60	29,09	9,5	12	32,57	9,9	12,9	10	12	12
0,30	138,06	45	57	145,41	44,3	57,2	45	57	57
0,15	118,96	38,7	95,7	127,61	38,8	96	39	96	96
Fundo	13,13	4,3	100	13,08	4	100	4	100	-
Total	307,03	-	-	328,54	-	-	-	-	1,69

Fonte: Autor, (2019).

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor, (2019).

O agregado miúdo mostrou-se satisfatório, pois compreendeu sua maioria entre as faixas da zona utilizável e ótima inferior, conforme a nota da NBR 7211:2009 estipula para módulos de finura entre 1,55 e 2,20. Apesar de nas peneiras 1,18 e 0,6 mm não estar compreendida na faixa estipulada, na peneira 0,15 mm a curva encontrou-se entre as faixas da zona ótima inferior e superior compensando a curva fora do limite.

O Quadro 7 informa a média dos valores de absorção de água, índice de vazios e massa específica seca, saturada e real de três amostras de cada traço, moldadas em corpo de prova cilíndrico com dimensões, 100 mm x 200 mm, designadas pela NBR 5738:2015.

Quadro 7 - Absorção de água, índice de vazios e massa específica seca, saturada e real

Parâmetros	S00	S05	S10
Absorção de água (%)	9,47	7,78	8,5
Índices de vazios (%)	21,28	18,01	19,49
Massa específica das amostras seca (g/cm³)	2,25	2,32	2,3
Massa específica das amostras saturada (g/cm³)	2,46	2,5	2,49
Massa específica real das amostras (g/cm³)	2,85	2,83	2,85

Fonte: Autor, (2019).

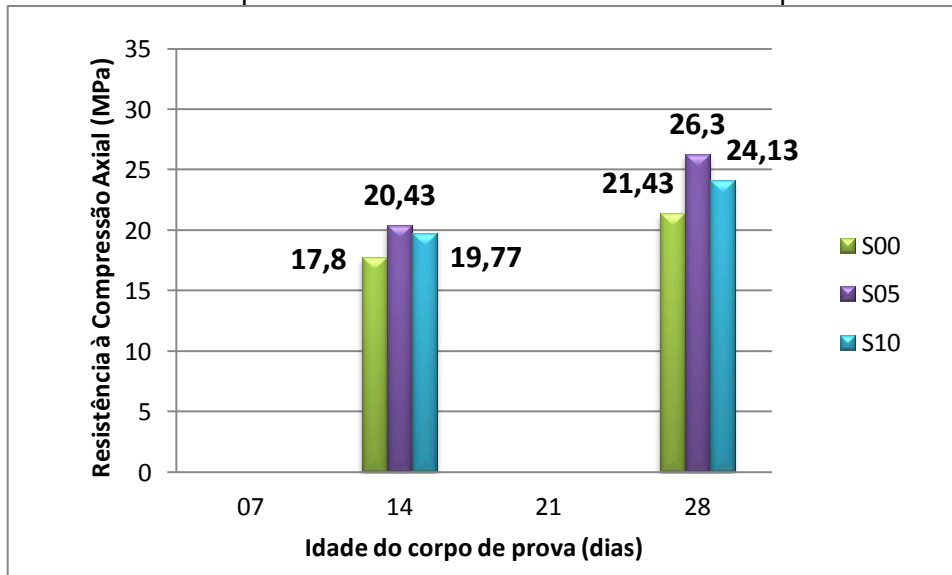
A massa específica real das amostras mostrou-se padronizada com uma variação de 0,7% da média das amostras do S05 para a média dos traços S00 e S10 e possuem massa específica maior que o mínimo estipulado na NBR 16416:2015 de 1,6 g/cm³. Em

relação ao índice de vazios, segundo Mehta e Monteiro (2008) corpos de prova com índice de vazios inferior a 15% são considerados concretos de baixa porosidade, na faixa de 15 a 30% concretos de porosidade ideal e acima de 30% concretos de alta porosidade, portanto, os corpos de prova apresentaram porosidade ideal. Foi possível observar que houve uma diferença no índice de vazios, entre os traços S05 e S10, mostrando que há mais vazios no corpo de prova com mais agregado miúdo para preenchimento dos espaços, isso pode ter ocorrido durante a moldagem dos corpos de prova do S10 em que a média das alturas foi inferior ao S05 influenciando na massa dos cilindros e, também, pela ação da gravidade que faz com que a areia desça no tempo de cura para a base do corpo de prova quando este não está com a granulometria bem distribuída. E a absorção de água está relacionada diretamente ao índice de vazios, pois as amostras com maior número de vazios obteve maior percentual de absorção de água.

6.2 Análise das resistências

O resultado da resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos de concreto é a relação entre a carga aplicada máxima e a área do corpo de prova, Gráfico 3. E os dados da resistência à tração na flexão do concreto quando submetido a esforços de flexão, Quadro 8.

Gráfico 3 - Comparativo das médias da resistência à compressão axial

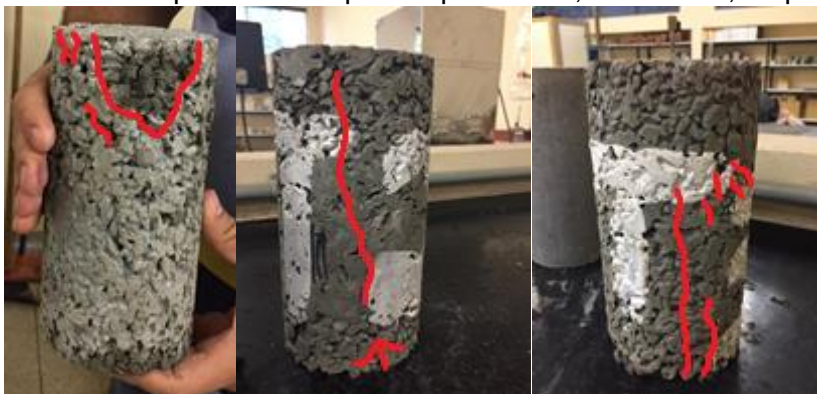


Fonte: Autor, (2019).

Os traços tiveram resultados acima de 20 MPa aos 28 dias, portanto, as amostras alcançaram o limite, superior a 20 MPa, estipulado para peças de concreto permeável pela NBR 16416:2015.

A Figura 7 demonstra como ocorreram as rupturas nos corpos de prova cilíndricos.

Figura 7 - Forma de ruptura nos corpos de prova S00, S05 e S10, respectivamente



Fonte: Autor, (2019).

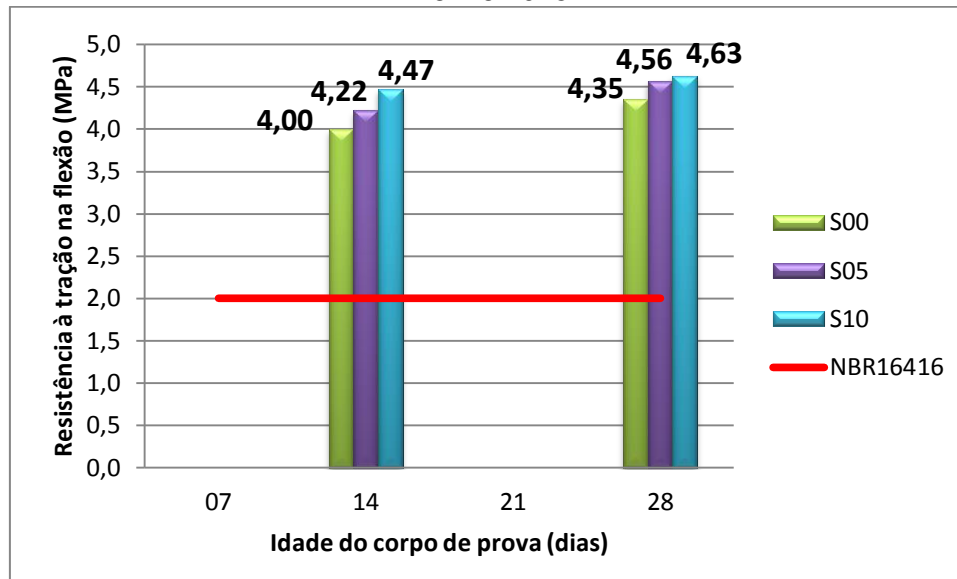
Os formatos de ruptura no traço S00 não coincidiram com os demais traços, havendo desprendimento do topo, os traços S05 e S10 apresentaram ruptura vertical e nenhuma das amostras se enquadraram no tipo de ruptura para concretos convencionais da NBR 5739:2018.

Quadro 8 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão

Traço	Idade (dias)	Dimensão entre Apoios (mm)	Largura e Altura Média (mm)	Força Máxima (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
S00	14	300	100	13434	4,03	4,00	0,33
	14	300	100	12551	3,77		
	14	300	100	15101	4,53		
	14	300	100	12257	3,68		
	28	300	100	15493	4,65	4,35	0,38
	28	300	100	12551	3,77		
	28	300	100	14120	4,24		
	28	300	100	15787	4,74		
S05	14	300	100	14512	4,35	4,22	0,30
	14	300	100	15003	4,5		
	14	300	100	16572	4,33		
	14	300	100	12355	3,71		
	28	300	100	17160	4,89	4,56	0,33
	28	300	100	15493	4,65		
	28	300	100	15591	4,68		
	28	300	100	15199	4,01		
S10	14	300	100	16375	4,91	4,47	0,28
	14	300	100	13826	4,15		
	14	300	100	15003	4,50		
	14	300	100	15983	4,32		
	28	300	100	17454	5,24	4,63	0,43
	28	300	100	15787	4,12		
	28	300	100	15983	4,79		
	28	300	100	14512	4,35		

Fonte: Autor, (2019).

Gráfico 4 - Comparativo das médias da resistência à tração na flexão com a NBR 16416:2015



Fonte: Autor, (2019).

A resistência a tração na flexão apresentou dados muito satisfatórios, todos os traços apresentaram, logo aos 14 dias, o dobro do mínimo, estipulado pela NBR 16416:2015, de 2 MPa. Caracterizando essas amostras como aptas a tráfego leve e de pedestres.

A Figura 8 demonstra como ocorreram as rupturas nos corpos de prova prismáticos.

Figura 8 - Forma de ruptura nos corpos de prova S00, S05 e S10, respectivamente



Fonte: Autor, (2019).

Foi possível observar que nos traços S00 e S05 a ruptura na maioria das vezes deu-se dentro do terço médio, já no S10 apresentou-se fora. Nas amostras em que a ruptura aconteceu fora do terço médio, foi necessário um recálculo da resistência conforme a NBR 12142:2010.

A Figura 9 mostra como ficou a seção transversal rompida do corpo de prova prismático.

Figura 9 - Seção transversal rompida do corpo de prova prismático



Fonte: Autor, (2019).

Notou-se na seção rompida dos corpos de prova prismáticos que não houve o desprendimento da placa de concreto, mas o rompimento do agregado graúdo.

6.3 Permeabilidade

O Coeficiente de permeabilidade é responsável por informar se o pavimento permeável produzido, com os traços S00, S05 e S10, drenará uma massa de água em um determinado período de tempo, Figura 10.

Figura 10 - Ensaio de permeabilidade



Fonte: Autor, (2019).

O Quadro 9 mostra os resultados do ensaio realizado conforme o Anexo A da NBR 16416:2015.

Quadro 9 - Determinação do coeficiente de permeabilidade

Traço	C	m (Kg)	d (mm)	t (s)	K (m/s)
S00	4583666000	18	290	27,3	9,97E-03
S05	4583666000	18	290	74,0	3,69E-03
S10	4583666000	18	290	90,1	3,03E-03

Fonte: Autor, (2019).

A substituição do agregado graúdo por miúdo interferiu 62,99% no S05 e 69,61% no S10 em comparação ao S00 no coeficiente de permeabilidade, porém, todos os traços atenderam ao limite exigido pela norma que estipula valores maiores que 10^{-3} m/s. Esse resultado confirma que agregando areia à mistura de concreto os vazios são preenchidos, dificultando a passagem da água.

7 CONCLUSÃO

O desempenho mecânico do concreto poroso é o principal fator que define a utilização desse método e os resultados da resistência mecânica obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios, sendo observado o rompimento do agregado graúdo e não o desprendimento da placa por possuir vazios.

A resistência à tração na flexão dos corpos de prova apresentou valores que variaram entre 4,35 e 4,63 MPa aos 28 dias e superiores ao limite estipulado pela NBR 16416:2015 para tráfegos leves e de pedestres, inclusive a do traço referência de 100% brita (S00). E em uma análise especial aos traços S05 e S10, de acordo com Batezini (2013), as amostras avaliadas se enquadram na faixa típica de 4,5 a 5,0 MPa de concretos convencionais para projetos rodoviários.

Em relação ao coeficiente de permeabilidade, os corpos de prova obtiveram resultados superiores aos recomendados pela NBR 16416:2015. Juntamente ao índice de vazios, os concretos podem ser caracterizados com porosidade ideal.

O traço que se destacou foi o S10, pois mesmo com um coeficiente de permeabilidade menor que os demais traços, ainda sim, manteve-se no limite da NBR 16416:2015 e apresentou resistência à tração na flexão 6,44% maior em comparação ao traço S00.

Quanto à resistência a compressão axial, mesmo esse ensaio não sendo obrigatório por norma, foi essencial para que se fossem feitas observações para futuras pesquisas e os valores obtidos foram satisfatórios em comparação às peças de concreto permeável.

Desta forma, são sugeridos alguns aspectos que se mostraram importantes no desenvolvimento desta pesquisa e que podem aperfeiçoar os estudos do concreto poroso, assim sugere-se para trabalhos futuros:

- Fazer o estudo com outro agregado graúdo;
- Utilizar aditivos para outros fatores a/c;
- Adicionar ou substituir algum material para fortalecer a ligação na zona de transição;
- E estudar a viabilidade econômica no Brasil de um pavimento de concreto permeável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proteger e dar forças durante a realização de um sonho e colocar pessoas tão maravilhosas na minha jornada acadêmica para compartilhar conhecimentos, a minha família, amigos e professores, em especial ao meu orientador Filipe Bittencourt Figueiredo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-06: Pervious Concrete**. Farmington Hills, 2006. 25 p.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 05, n. 3, p. 21-29, 2000. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 06 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto – Determinação da Resistência à Tração na Flexão em Corpos de Prova Prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova**. Rio de Janeiro, 2015. 09 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018. 09 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para Concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009. 09 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica**. Rio de Janeiro, 2005. 04 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833: Concreto Fresco – Determinação da Massa Específica, do Rendimento e do Teor de Ar pelo Método Gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2008. 07 p.

AZEVEDO, F. F. **Agregados Miúdos: A importância dos Agregados Miúdos no Controle Tecnológico do Concreto**. Revista Conexão Eletrônica, Três Lagoas, v. 14, n. 1, p. 2079-2086, 2017. Disponível em: <http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1584>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BATEZINI, R. **Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos Leves**. 2013. 133f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/publico/Dissertacao_Rafael_Batezin.pdf. Acesso em: 22 ago. 2019.

BOTTEON, L. M. **Desenvolvimento e Caracterização de Concreto Permeável para Utilização em Blocos Intertravados para Estacionamentos**. 2017. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/5255/1/LET%C3%8DCIA%20MACHADO%20BOTTEON%2011.37.017.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

COSTA, C. Inundação castiga dezenas de bairros em Dourados. **DouradosAgora**, Dourados, 2016. Disponível em: <https://www.douradosagora.com.br/noticias/dourados/inundacoes-castigam-dezenas-de-bairros-de-dourados>. Acesso em: 24 ago. 2019.

COUTINHO, A. P. **Pavimento Permeável como Técnica Compensatória na Drenagem Urbana da Cidade do Recife**. 2011. 133f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10525/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Arthur%20Paiva%20Coutinho.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2019.

DUARTE, T. **BH-TEC Parque Tecnológico de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 07 maio 2014. FourSquare city guide. Disponível em: <https://pt.foursquare.com/v/bhtec-parque-tecnol%C3%B3gico-de-belo-horizonte/4f2fb96a0cd693703c19f130?openPhotoid=536a7c2c498e9f644ee6e29e>. Acesso em: 05 nov. 2019.

EUA trabalham em novo pavimento: o de concreto permeável. **Massa cinzenta**, 2017. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/eua-trabalham-em-novo-pavimento-o-de-concreto-permeavel/>. Acesso em: 24 ago. 2019.

EVARISTO, F.A.F. **Avaliação da Resistência Mecânica, Permeabilidade e Efeito da Colmatação de Pavimentos com Revestimento de Concreto Permeável**. 2016. 132f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Vale do Itajaí, 2016.

FAGUNDES, C. K. *et al.* **Avaliação da Resistência Mecânica e Permeabilidade de Concretos Permeáveis com Adição de Agregado Miúdo**. 2016. Disponível em: <http://www.confex.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/civil/avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20resist%C3%Aancia%20mec%C3%A2nica%20e%20permeabilidade%20de%20concretos%20perme%C3%A1veis%20>

com%20adi%C3%A7%C3%A3o%20de%20agregado%20mi%C3%BAdo.pdf. Acesso em: 15 jan. 2019.

FINOCCHIARO, P. S.; GIRARDI, R. **Concreto permeável produzido com agregado reciclado**. Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana, Macaé, n. 5, p. 19-26, 2017. Disponível em: http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao5/FSMA_RESA_2017_1_03.pdf. Acesso em: 28 ago. 2019.

HÖLTZ, F. C. **Uso de Concreto Permeável na Drenagem Urbana: Análise da Viabilidade Técnica e do Impacto Ambiental**. 2011. 118f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35615/000795199.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 maio 2019.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica: Ciência e Conhecimento Científico, Métodos Científicos, Teoria, Hipóteses e Variáveis e Metodologia Jurídica**. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LAMB, G. S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável**. 2014. 150f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/114985>. Acesso em: 01 maio 2019.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 2. Ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MONTEIRO, A. C. N. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. 2010. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: https://www.eec.ufg.br/up/140/o/CONCRETO_POROSO_DOSAGEM_E_DESEMPENHO.pdf. Acesso em: 02 mar. 2019.

PROJETO da defesa civil de Dourados é apresentado em simpósio nacional. **Prefeitura de Dourados**, 2019. Disponível em: <http://www.dourados.ms.gov.br/index.php/projeto-da-defesa-civil-de-dourados-e-apresentado-em-simposio-nacional/>. Acesso em: 24 ago. 2019.

SILVEIRA, C. A.; DIAS, P.; SCHUCH, F. S. **A problemática das inundações em áreas urbanas sob a ótica da permeabilidade do solo**. 2014. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/134547/COBRAC_2014_6-8-1-RV.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 ago. 2019.

SOUZA, I. P.; SOUSA, A. I. P. **Mapeamento das áreas de risco de enchente e inundação na cidade de Dourados – MS**. 2019. 10f. Projeto da Prefeitura Municipal de Dourados - Coordenadoria de Defesa Civil.

TAMPOROSKI, B. R.F. *et al.* **O planejamento urbano e as enchentes em Dourados: a distância entre a realidade e a legalidade**. Cadernos Metrópole, São Paulo, v. 14, n. 27, p. 217-232, 2012. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/view/14788>. Acesso em: 20 set. 2019.