

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO -
CAMPUS RIO VERDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO
NO CONCRETO DRENANTE APLICADO IN LOCO EM DUAS
CAMADAS GRANULOMÉTRICAS PARA TRÁFEGO DE
PEDESTRES

Autora: Júlia Longo de Assis
Orientadora: Ma. Bruna Oliveira Campos

Rio Verde – GO
Novembro – 2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO -
CAMPUS RIO VERDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO
NO CONCRETO DRENANTE APLICADO IN LOCO EM DUAS
CAMADAS GRANULOMÉTRICAS PARA TRÁFEGO DE
PEDESTRES

Autora: Júlia Longo de Assis
Orientadora: Ma. Bruna Oliveira Campos

Trabalho de conclusão de curso apresentado, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

Rio Verde – GO
Novembro - 2021

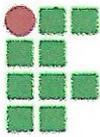
Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Assis, Júlia Longo

AAS848i Influência da granulometria do agregado graúdo no concreto drenante aplicado in loco em duas camadas granulométricas para tráfego de pedestres / Júlia Longo de Assis; orientadora Bruna Oliveira Campos; co-orientador Marconi Batista Teixeira. Rio Verde, 2021.
37p.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Permeabilidade. 2. Pavimento. 3. Drenagem. 4. permeabilidade.
I. Oliveira Campos, Bruna, orient. II. Batista Teixeira, Marconi, co-orient. III. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Júlia Longo de Assis

Matrícula: 2016102200840580

Título do Trabalho: INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO DRENANTE APLICADO IN LOCO EM DUAS CAMADAS GRANULOMÉTRICAS PARA TRÁFEGO DE PEDESTRES

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/01/2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 09/11/2021.

Local Data

Júlia Longo de Assis

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Bruna Campos

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 154/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte e cinco dias do mês de outubro de 2021, às 14 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Bruna Oliveira Campos (orientadora), Marconi Batista Teixeira (coorientador), Marcel Willian Reis Sales (Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde), Bacus de Oliveira Nahime (Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “Influência da granulometria do agregado graúdo no concreto drenante aplicado in loco em duas camadas granulométricas para tráfego de pedestres”, da estudante Júlia Longo de Assis, Matrícula 2016102200840580 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo coorientador.

(Assinado Eletronicamente)

Bruna Oliveira Campos

Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira

Coorientador

(Assinado Eletronicamente)

Bacus de Oliveira Nahime

Membro interno

(Assinado Eletronicamente)

Marcel Willian Reis Sales

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Bacus de Oliveira Nahime, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/11/2021 14:07:23.
- **Marcel Willian Reis Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 25/10/2021 15:53:02.
- **Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV**, em 25/10/2021 15:52:16.
- **Bruna Oliveira Campos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 25/10/2021 15:46:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/10/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 318613

Código de Autenticação: 315c707753



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de estudo e por todas as outras circunstâncias que me auxiliaram para que meus objetivos fossem almeçados por minha trajetória pelo curso.

Aos meus familiares por toda ajuda, apoio e entendimento enquanto eu me dedicava para realização do curso e deste trabalho.

Aos professores da instituição, por todos os ensinamentos e paciência com meu aprendizado.

Agradeço a minha orientadora Ma. Bruna Campos pelo auxílio e compartilhamento de seus conhecimentos para que este trabalho fosse realizado.

Aos meus colegas de instituição, em especial Styven Gomes, Christyan Marques e César Filho também alunos da instituição que me auxiliaram durante a execução do trabalho.

A todos que puderam de alguma forma, e fizeram parte deste estudo que representa a finalização de uma das melhores etapas da minha vida, muito obrigada!

BIOGRAFIA DA AUTORA

Natural de Barretos – SP, filha de Maurício Nassau de Assis Jr. e Sandra Regina Longo de Assis. Graduação em andamento pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde.

ÍNDICE GERAL

	Página
Sumário	
ÍNDICE GERAL	iv
ÍNDICE DE TABELAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO	11
1.1 Construção Civil e Sustentabilidade	12
1.2 Utilização do concreto e sua estrutura.....	13
1.3 Concreto Drenante.....	13
1.4 Trabalhos de referência	14
2 OBJETIVOS.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO I.....	19
RESUMO	20
ABSTRACT	20
3. Introdução.....	20
4 Material e métodos	21
4.1 Materiais.....	22
4.2 Ensaio de caracterização dos materiais.....	22
4.2.1 Composição Granulométrica.....	22

4.2.2 Massa unitária	23
4.2.3 Massa específica e teor de absorção.....	23
4.2.4 Dosagem.....	23
4.2.5 Mistura e moldagem.....	24
4.2.6 Cura	26
4.3 Ensaio realizados nos corpos de prova	26
4.3.1 Massa fresca	26
4.3.2 Coeficiente de permeabilidade	26
4.3.3 Ensaio de resistência à tração na flexão	27
4.3.4 Ensaio de resistência à compressão.....	29
5 Resultados e discussão	30
5.1 Composição granulométrica.....	30
5.2 Massa unitária	31
5.3 Massa específica.....	31
5.4 Massa específica do concreto fresco e absorção	31
5.5 Coeficiente de permeabilidade	31
5.6 Ensaio de resistência à tração na flexão	32
5.6 Ensaio de resistência à compressão.....	34
6 Conclusão	34
7 Referências	35

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características do revestimento permeável.....	15
CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO DRENANTE APLICADO IN LOCO EM DUAS CAMADAS GRANULOMÉTRICAS PARA TRÁFEGO DE PEDESTRES	
Tabela I – Quantitativo de corpos de prova por ensaio.....	27
Tabela II – Composição granulométrica do Agregado 1 e Agregado.....	31
Tabela III – Coeficiente de permeabilidade dos corpos de prova.....	33
Tabela IV – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	33
Tabela V – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	34
Tabela VI – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO DRENANTE APLICADO IN LOCO EM DUAS CAMADAS GRANULOMÉTRICAS PARA TRÁFEGO DE PEDESTRES	
Figura 1 – Corpo de prova de agregado 1.....	25
Figura 2 – Corpo de prova de agregado 2.....	26
Figura 3 – Corpo de prova de agregado 1 + agregado 2.....	26
Figura 4 – Esquema de separação dos agregados na composição do corpo de prova.....	26
Figura 5 – Permeâmetro construído para determinação de coeficiente de permeabilidade.	28
Figura 6 – Esquema para realização do ensaio de tração à flexão.....	29
Figura 7 – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	29
Figura 8 – Ensaio de resistência à compressão.....	30
Figura 9 – Gráfico de granulometria dos agregados.	31
Figura 10 – Resistência à tração na flexão dos corpos de prova.....	34
Figura 11 – Fissuras após ensaio de resistência mecânica.....	35

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS,
ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/sigla	Significado	Unidade medida
Σ	Somatória	
%	Por cento	
A	área	m ³
Apud	Citado por	
CBIC	Câmara Brasileira de Indústria e Comércio	
Et al.	E outros	
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza	
k	Coeficiente de permeabilidade	m/s
p	densidade	k/m ³
m	Massa	Kg
k	Coeficiente de permeabilidade	m/s
V	Volume	M ³
k	Coeficiente de permeabilidade	m/s
MPa	Unidade de força	
NBR	Norma Brasileira	
°C	Graus Celsius	
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	
PIB	Produto Interno Bruto	

RESUMO

ASSIS, JÚLIA LONGO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, outubro, 2021. **Influência da granulometria do agregado graúdo no concreto drenante aplicado in loco em duas camadas granulométricas para tráfego de pedestres.** Orientadora: Bruna Oliveira Campos. Coorientador: Marconi Batista Teixeira.

A urbanização ocasiona mudanças ambientais, entre elas está a redução da drenagem do solo, causando danos como precariedade de percolação da água pluvial na área urbana. Existem, nesta vertente, poucas soluções construtivas que aliam seu desenvolvimento à sustentabilidade. Surge então como alternativa, o concreto drenante que trata-se de um tipo de pavimentação capaz de suportar cargas e promover a drenagem no local aplicado. Entretanto, o material não apresenta bom acabamento superficial. Dessa forma, a pesquisa busca aliar à drenagem, um bom aspecto estético do concreto drenante. Para tanto, analisou a aplicação do concreto drenante em duas camadas de variações granulométricas que estão entre as dimensões de 2,36 mm a 12,5 mm para o agregado 1, conhecido como brita 0 e para o agregado 2, conhecido como pedrisco, as dimensões estão entre 2,36 mm a 6,3 mm. Avaliou-se mediante ensaios laboratoriais, a influência da granulometria dos agregados graúdos nas propriedades físicas de permeabilidade e de resistência à tração na flexão do concreto drenante. Observou-se que a utilização dos dois agregados em associação, possibilitou um acabamento melhor além de demonstrar eficácia perante os limites normativos de resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Permeabilidade, pavimento, drenagem.

ABSTRACT

ASSIS, JÚLIA LONGO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, october, 2021. **Influence of coarse aggregate on pervious concrete applied on site in two granulometric layers for pedestrian traffic.** Advisor: Bruna Oliveira Campos. Co-advisor: Marconi Batista Teixeira.

Urbanization causes environmental changes, including the reduction of soil drainage, causing damage such as precarious rainwater percolation in urban areas. There are, in this aspect, constructive solutions that combine its development with sustainability. As an alternative, pervious concrete appears, which is a type of paving capable of loading and promoting drainage in the specified location. However, the material does not have a good surface finish. Thus, a research seeking to combine drainage, a good aesthetic aspect of draining concrete. Therefore, it analyzed the application of draining concrete in two layers of granulometric variations that are between the dimensions of 2.36 mm to 12.5 mm for aggregate 1, that is known as gravel 0 and for aggregate 2, that is known as gravel, the Dimensions are between 2.36mm to 6.3mm. Through laboratory tests, the influence of the coarse aggregates granulometry on the physical properties of permeability and tensile strength in the bending of pervious concrete is reported. It was observed that the use of the two aggregates in association, enabled a better finish, and the normative limits of flexural tensile strength and permeability coefficient were consolidated.

KEYWORDS: Permeability, pavement, drainage.

INTRODUÇÃO

Uma das principais problemáticas do crescimento urbano é a deficiência em drenagem, causada pelas reduções de áreas verdes, alterações das condições do solo, ausência de políticas de regulamentação, alteração de cursos d'água, e outros. A curto prazo, são conciliadas decisões que visam minimizar esses impactos na drenagem, sendo uma das opções a implantação de sistemas de galerias em pontos estratégicos das cidades, que modificam o curso d'água, liberando espaço para as construções. Entretanto, nota-se a deficiência dessa alternativa visto sua incompatibilidade diante de drenagens em maior volume. Assim, surge como desafio ações de intervenção que proporcionam o crescimento populacional consoante à proteção dos recursos esgotáveis e redução dos impactos ambientais negativos, associados ao desenvolvimento. Portanto, deve-se aliar planejamento construtivo e funcionamento do ciclo hidrológico nos centros urbanos.

Uma das alternativas que auxilia na drenagem é a aplicação do concreto drenante ou permeável. É definido de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015) como tipo de pavimento que atende as solicitações de resistência de tráfego e permite a percolação da água a depender de sua estrutura onde a presença de vazios em sua estrutura, devido à ausência ou utilização mínima de agregado miúdo, possibilita obter de 15 a 25% de permeabilidade.

O concreto drenante não apresenta bom acabamento que restringe a sua aceitação para aplicar em áreas urbanas. Dessa forma, esse trabalho objetiva aliar à drenagem, um bom aspecto estético do concreto drenante mediante a aplicação do pavimento em duas camadas de variações granulométricas com dimensões entre 2,36 mm e 12,5 mm para o agregado 1 conhecido como brita 0 e para o agregado 2, conhecido como pedrisco, as dimensões estão entre 2,36 mm a 6,3 mm.

Assim, será avaliada a influência dessas camadas nas propriedades físicas de permeabilidade e de resistência à tração na flexão e resistência a compressão mediante ensaios laboratoriais em

corpos de prova do concreto drenante em conformidade com a NBR 16416 (ABNT, 2015) para aplicação in loco de pavimento com espessura de 60 mm para tráfego de pedestres.

1.1 Construção Civil e Sustentabilidade

A construção civil representa parte importante do comércio e indústria do Brasil, verifica-se esse parâmetro observando-se que, segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) em 2019, a Construção Civil representou 1,4% do PIB brasileiro.

De acordo com o relatório anual da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) a natureza e seus recursos têm sofrido grande pressão na América do Sul, diante delas estão o desmatamento, desertificação, mudança climática, poluição e parâmetros de infraestrutura e expansão urbana descontrolada.

Diante da preocupação das interferências no meio ambiente, o Brasil assumiu o compromisso de implementar a Agenda 2030, definida como instrumento de planejamento das ações políticas e públicas capazes de associar o desenvolvimento com o alcance sustentável (PLANALTO, 2016). Em conformidade com a Agenda 2030, foram criados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que definiram uma estratégia mundial oriunda por 17 objetivos e 169 metas.

Sem uma organização sistêmica, a urbanização provoca adensamento do solo e a subsequente impermeabilização da superfície. Em grandes massas de urbanização caracteriza-se a infiltração de águas pluvial prejudicada onde essas por sua vez são encaminhadas para locais não destinados a esse fim como encostas, provocando inundações e problemas maiores. (NUNES, L. 2015; TUCCI, 2016)

De acordo com Canholi (2014), a ausência da macrodrenagem estruturada representa uma das maiores causas de enchentes. O crescimento urbano desordenado promove o uso inadequado do solo que reduz a percolação e armazenamento da água pluvial, gerando mudanças no ciclo hidrológico local.

Dessa forma, nota-se a importância do manejo das águas pluviais, associado ao desenvolvimento urbano e social adequado, visto que, as más práticas construtivas promovem, a longo prazo, transtornos à população.

1.2 Utilização do concreto e sua estrutura

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) a utilização do concreto como material de engenharia deve-se ao seu bom desempenho e resistência à água, além da facilidade de sua utilização constando rápida logística para uso em obras e possibilidade de diversificadas formas e variedades de dimensão aliados ao seu custo econômico.

Neville (2013) classifica o concreto como material resultante da mistura de aglomerante, agregado e água afirmando que no geral $\frac{3}{4}$ do volume total de concreto é constituído por agregados e sua influência no concreto é na resistência final adquirida, durabilidade e desempenho.

Reiterado por Neville (2016) as dimensões que serão utilizadas no agregado possuem ampla faixa de utilização onde não existe curva ideal para os mesmos, que, conforme Mehta e Monteiro (2014) o agregado e sua relevância também se dá ao custo e trabalhabilidade de misturas.

Para bons resultados com a resistência do concreto têm-se a cura como aspecto a ser trabalhado, nesse âmbito a cura úmida é bem vista onde de acordo com Mehta e Monteiro (2014) para cimentos de alta resistência CP-V aplicando condições normais de temperatura e cura úmida a resistência máxima é adquirida em 48 horas.

1.3 Concreto Drenante

O concreto drenante é definido de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), como pavimento permeável constituído por cimento Portland, agregado graúdo, pouco ou nenhum agregado miúdo e aditivos. A utilização do agregado graúdo aliado a baixa quantidade ou ausência de materiais finos possibilita maior índice de vazios, após a compactação, sendo benéfico a permeabilidade do material, essa informação é confirmada por Ribeiro (2018) onde o maior valor de vazios encontrado em sua pesquisa através da granulometria variando de 4,8 a 12,5 mm.

Para Tennis *et al.*, (2004), a utilização do concreto drenante demonstra-se uma solução eficaz que consegue atender as demandas ambientais e construtivas. Schaefer *et al.*, (2006) inclui a utilização do concreto drenante à melhoria do escoamento em dias chuvosos, minimização dos efeitos de ilha de calor e preservação de ecossistemas nativos.

O pavimento drenante deve ser projetado de acordo com a área e solicitação hidráulica, com os materiais utilizados, assim como também as especificações das espessuras das sub-bases que geralmente devem possuir 20 cm espessura granulométrica uniforme com 19 mm. Algumas informações referentes a resistência que o concreto drenante deve adquirir de acordo com o tipo de revestimento e espessura são listadas na Tabela 1 adaptada da NBR 16416 (ABNT,2015).

Tabela 1. Características do revestimento permeável

Tipo de Revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica (Mpa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 35,0 a	NBR 9781 (ABNT, 2013)
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 20,0 a	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 2,0 b	NBR 15805 (ABNT, 2015)
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 1,0 c	NBR 12142(ABNT, 2010)
	Tráfego leve	80,0	≥ 2,0 c	

a - Determinação da resistência à compressão, conforme na NBR 9781 (ABNT, 2013).

b - Determinação da resistência à flexão, conforma na NBR 15805 (ABNT, 2015).

c - Determinação da resistência à tração na flexão, conforme na NBR 12142 (ABNT, 2010).

Para concretagem in loco, atendendo solicitação de tráfego de pedestres tem-se a espessura mínima de 60 mm e como limite de resistência 1,0 MPa no ensaio de tração a flexão e de coeficiente de permeabilidade de 10^{-3} m/s, determinadas pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

1.4 Trabalhos de referência

Ribeiro (2018) avaliou em seus estudos o cálculo do coeficiente de permeabilidade em concretos drenantes. Em sua matriz experimental foram dispostos e testados concretos drenantes com três diferentes tamanhos granulométricos sendo eles PC-1 (4,75 mm a 12,5 mm) PC-2 (2,4 mm

a 9,5 mm) e PC-3 (6,3 mm). Como resultado, evidenciou-se que o maior coeficiente de permeabilidade obtido foi de $0,21 \text{ cm.s}^{-1}$, decorrente do concreto com dimensões de agregados de 2,4 a 9,5 mm.

Nos estudos de Campos (2019) avaliou-se a substituição de 0, 10, 20, 30 e 40% do agregado natural basáltico pelo ARC (agregado reciclado de concreto) no concreto drenante. Analisou as propriedades mecânicas mediante os ensaios de resistência (compressão e tração na flexão), além do ensaio de coeficiente de permeabilidade do concreto drenante. Como resultado, apesar da substituição do agregado natural diminuir a resistência à compressão os traços analisados atingiram resistência à tração na flexão mínima de 1,0 e 2,0 MPa e coeficiente de permeabilidade de 10^{-3} m/s tendo o traço de 10% de substituição com maior desempenho.

Na pesquisa de Martins Filho, *et al.*, (2020) foi utilizado o método do IPT/EPUSP na dosagem com propósito em adquirir 25% porosidade fixada mediante a utilização de dois métodos de compactação, proctor e rolo. Dessa forma, obteve-se como resultado que o método de dosagem, observando a densidade em foi eficiente para obtenção da porosidade desejada, principalmente para os corpos de prova moldados.

Alicerçando-se nas pesquisas citadas, o presente trabalho investiga a variação dos tamanhos granulométricos avaliando o agregado 1, usualmente conhecido como brita 0, (2,36 mm e 12,5 mm) e o agregado 2, conhecido como pedrisco, (2,36 mm a 6,3 mm). A variação granulométrica é encontrada na pesquisa de Ribeiro (2018).

2 OBJETIVOS

Geral

Estudar a influência da granulometria dos agregados graúdos nas propriedades físicas de permeabilidade e resistência à tração na flexão do concreto drenante.

Específicos

I. Verificar se as propriedades mecânicas do concreto drenante realizado em duas camadas atendem a solicitação do tráfego local e percolação estipulados pela NBR 16416 para tráfego de pedestres com espessura de 60 mm (ABNT, 2015);

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - (ABNT). **NBR 16416** - Pavimentos Permeáveis de Concreto - requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. **Decreto nº 8.892**, de 27 out. 2016. Cria a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Diário Oficial da União**, Brasília, 31 out. 2016a.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **PIB Brasil e Construção Civil**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil> Acesso em: maio, 2021.

CAMPOS, Bruna Oliveira. **Pavimento permeável incorporado com agregado reciclado de concreto**. 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, 2019.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

MARTINS FILHO, S. T.; BOSQUESI, E. M.; FABRO, J. R.; PIERALISI, R.. Characterization of pervious concrete focusing on non-destructive testing. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 483-500, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952020000300003>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 2ª edição; são Paulo: IBRACON. Português, 2014.

NEVILLE AM, BROOKS JJ. **Tecnologia do Concreto**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman; 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedade do Concreto**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais, abrangência América do Sul**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 186 p.; TUCCI, 2016

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Os objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/assembleia-ambiental-da-onu-mira-solucoes-inovadoras-para-futuroglobal/>. Acesso em maio, 2021

RIBEIRO, A.; SANTOS, V. dos; PAGNUSSAT, D. T.; BRANDALISE, R. N.. Assessment of a system for the prediction of water permeability coefficient in pervious concretes. **Cerâmica**,

[S.L.], v. 64, n. 372, p. 519-525, dez. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643722445>.

SCHAEFER, V. WANG, K. SULEIMAN, M. KEVERN, J. Mix desing development for pervious concrete in cold weather climates. **Iowa Department of Transportation**. 2006.

TENNIS, P. D. LEMING, M. LAKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements. Portland Cement Association, skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association**, Silver Spring, Maryland, USA. 2004. 27 p.

UNIÃO INTERNACIONAL PARA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA - IUCN. **América do sul escritório regional relatório anual**. Quito – Equador, 2019. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/node/49063> Acesso em: mai. 2021

CAPÍTULO I

(Normas de acordo com a revista Cerâmica)

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO DRENANTE APLICADO IN LOCO EM DUAS CAMADAS GRANULOMÉTRICAS PARA TRÁFEGO DE PEDESTRES

*INFLUENCE OF COARSE AGGREGATE ON PERVIOUS CONCRETE APPLIED
ON SITE IN TWO GRANULOMETRIC LAYERS FOR PEDESTRIAN TRAFFIC*

Júlia Longo de Assis

Graduação em andamento em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano.
Instituição: Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.
Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde – GO – Brasil
E-mail: julialongoa@gmail.com

Bruna Oliveira Campos

Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade pelo Instituto Federal Goiano.
Instituição: Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.
Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde – GO – Brasil
E-mail: bruna.campos@ifgoiano.edu.br

Christyan Marques Silva Chaves

Graduação em andamento em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano.
Instituição: Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.
Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde – GO – Brasil
E-mail: christyanchaves5@gmail.com

Marconi Batista Teixeira

Pós-doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
ESALQ/USP.

Instituição: Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.
Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde – GO – Brasil
E-mail: marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br

Anna Júlia Henrique Ribeiro
Graduação em andamento em Engenharia Civil pela UniRV..
Endereço: Fazenda Fontes do Saber – Rio Verde Goiás
E-mail: annajuliahribeiro@gmail.com

RESUMO

A urbanização ocasiona mudanças ambientais, entre elas está a redução da drenagem do solo e precariedade de percolação da água pluvial na área urbana. Existem, nesta vertente, poucas soluções construtivas que aliam seu desenvolvimento à sustentabilidade. Surge então como alternativa, o concreto drenante que se trata de um tipo de pavimentação capaz de suportar cargas e promover a drenagem no local aplicado. Para tanto, analisou a aplicação do concreto drenante em duas camadas de variações granulométricas que estão entre as dimensões de 2,36 mm a 12,5 mm para o agregado 1 e para o agregado 2 as dimensões estão entre 2,36 mm a 6,3 mm avaliando a influência nas propriedades físicas de permeabilidade e de resistência à tração na flexão. As avaliações foram realizadas mediante ensaios laboratoriais. A associação possibilitou um acabamento melhor, além de demonstrar eficácia perante os limites normativos de resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade.

Palavras-chave: Permeabilidade, pavimento, drenagem, granulometria.

ABSTRACT

Urbanization causes sudden environmental changes, including the reduction of soil drainage and the precariousness of rainwater percolation in the urban area. There are, in this aspect, constructive solutions that combine its development with sustainability. As an alternative, draining concrete appears, which is a type of pavement capable of loading and promoting drainage in the specified location. Therefore, it analyzed the application of draining concrete in two layers of granulometric variations that are between the dimensions of 2.36 mm to 12.5 mm for aggregate 1 and for aggregate 2 as dimensions are between 2.36 mm to 6, 3 mm evaluating the influence on the physical properties of permeability and tensile strength in bending. As evaluations were carried out through laboratory tests. The association enabled a better finish in addition to the proven and proven normative limits of flexural tensile strength and permeability coefficient.

Keywords: Permeability, pavement, drainage, granulometry.

3. Introdução

O crescimento dos centros urbanos e a conseqüente expansão populacional geram imponente ameaça aos recursos naturais, em específico ao ciclo hidrológico. A adaptação do ciclo natural da

água congruente ao crescimento populacional desordenado, causam diversos transtornos que prejudicam a qualidade da drenagem urbana [1].

Sem uma organização sistêmica, a urbanização provoca adensamento do solo e a subsequente impermeabilização da superfície. Em grandes massas de urbanização caracteriza-se a infiltração de águas pluvial prejudicada onde essas por sua vez são encaminhadas para locais não destinados a esse fim como encostas provocando inundações e problemas maiores [2].

Dessa forma, propõe-se como possível alternativa aos problemas de drenagem urbana, o concreto drenante, definido como pavimento constituído de cimento Portland, agregado graúdo, pouco ou nenhum agregado miúdo e aditivos.

A aplicação do concreto drenante tem sido uma alternativa para drenagem, desde a metade do século XIX, datado também no Reino Unido e utilizado na construção de casas, em 1852 [3].

A utilização do concreto drenante demonstra-se uma solução eficaz que consegue atender as necessidades ambientais e construtivas. Os aquíferos subterrâneos são reabastecidos com a aplicação do concreto drenante, além de proporcionar a melhoria do escoamento em dias chuvosos, minimização dos efeitos de ilha de calor e preservação de ecossistemas nativos [4].

O pavimento drenante deve ser projetado de acordo com a área e solicitação hidráulica, com os materiais utilizados, assim como também as especificações das espessuras das sub-bases. Para concretagem in loco, atendendo solicitação de tráfego de pedestres com espessura mínima de 60 mm têm-se como limite de resistência 1,0 MPa no ensaio de tração à flexão e de coeficiente de permeabilidade de 10^{-3} m/s [5].

Objetiva-se verificar se as propriedades mecânicas do concreto drenante realizado em duas camadas atendem a solicitação do tráfego local e percolação estipulados pela NBR 16416 para tráfego de pedestres com espessura de 60 mm [5].

4 Material e métodos

Essa pesquisa utilizou o método experimental cujo objeto de estudo é o concreto drenante composto por duas camadas de faixas granulométricas de agregado natural de basalto onde o agregado 1 possui as dimensões entre 2,36 mm e 12,5mm e o agregado 2 dimensões entre 2,36 mm a 6,3 mm. A avaliação da influência dos agregados nas variáveis de índice de permeabilidade e de resistência à tração na flexão do concreto drenante foi realizada mediante ensaios laboratoriais de granulometria [6]; massa específica [7]; massa unitária e volume de vazio [8] do agregado graúdo.

Além disso, foram realizados ensaios de permeabilidade [9] e de resistências à tração na flexão [10] e ensaio de resistência à compressão [11] dos corpos de prova de concreto drenante. Os ensaios para caracterização dos materiais foram realizados nos laboratórios de Materiais de Construção Civil e de Estruturas do IF Goiano, Campus Rio Verde, já os ensaios de resistência e de permeabilidade foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade de Rio Verde – UNIRV.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova de concreto drenante foi o cimento de alta resistência inicial CP-V ARI, pela limitação de formas e a possibilidade de rápida desforma e o agregado graúdo de basalto fixados em agregado 1 (2,36 mm a 12,5 mm) e agregado 2 (2,36 mm a 6,3mm) sendo a camada superior o agregado 2, ambos fornecidos pela Pedreira Rio Verde, localizada em Rio Verde – GO.

4.2 Ensaios de caracterização dos materiais

4.2.1 Composição Granulométrica

Os procedimentos descritos a seguir foram realizados para o agregado 1 e agregado 2 [6]. Separou-se duas amostras de cada agregado com massa normatizada de 2 kg, as amostras foram secadas em estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de $105 (\pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas e determinou-se as massas secas m_1 e m_2 . Após isso montou-se a aparelhagem das peneiras das séries seguindo a ordem crescente de tamanho das malhas, da base para o topo da abertura das malhas (fundo – 2,36 mm – 4,75 mm – 6,3 mm – 9,5 mm e 12,5 mm). A amostra foi colocada na peneira superior iniciando assim o peneiramento onde promoveu-se a agitação das peneiras por 5 minutos de forma mecânica para separação e classificação prévia dos tamanhos. Removeu-se o material de cada peneira, identificando-o e coletando os valores de massa do material. Com os dados de massa retida de cada peneira realizou-se os cálculos das porcentagens retida (Equação A), acumulada (Equação B) e verificou-se o valor encontrado.

$$\%_{\text{retida}} = \frac{\text{massa retida na peneira}}{\Sigma \text{massa retida}} \quad (A)$$

$$\%_{\text{acumulada}} = \frac{\%_{\text{retida na peneira}}}{\%_{\text{acumulada anterior}}} \quad (B)$$

4.2.2 Massa unitária

Para este ensaio coletou-se a massa do recipiente vazio (m_r) em kg, mensurou-se o volume (V) do recipiente em m^3 e por fim, após o recipiente ser completado em três camadas de agregado, adensadas com 25 golpes através de uma haste metálica, coletou-se a massa do recipiente junto com o agregado (m_{ar}) [8]. Com esses dados realizou-se o cálculo da massa unitária (ρ_{ap}) expressa em kg/m^3 através da Equação C.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (C)$$

4.2.3 Massa específica e teor de absorção

Neste ensaio, coletou-se uma amostra de 2 kg do agregado 1 e do agregado 2 e foi realizada a lavagem prévia de ambas a fim de remover o pó e secagem em estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de $105 (\pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas. Após isso, as amostras foram mergulhadas em água por 24 horas, em seguida foram retiradas do cesto secando-as com um pano para retirar a água que era perceptível. Durante o processo coletou-se os dados de massa seca (m), massa em água da amostra (m_a) e massa do agregado saturado com superfície seca (m_s), em gramas [8]. Com esses dados realiza-se o cálculo da massa específica (d_s) expressa em g/m^3 e teor de absorção (A) em %, através da Equação D e E.

$$d_s = \frac{m}{m - m_a} \quad (D)$$

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (E)$$

4.2.4 Dosagem

Adotou a relação de água e cimento (a/c) de 0,31, os consumos de cimento e de agregado graúdo de 362 kg/m³ e 1448 kg/m³, respectivamente. A relação aglomerante: agregado de 1:4, conforme o traço em massa [13] definido para que a massa específica do concreto fresco atingisse de 1600 a 2000 kg/m³, atendendo os limites normativos [6].

4.2.5 Mistura e moldagem

Com a finalidade de proporcionar melhoria na resistência mecânica [14], o método de mistura adotado foi de primeiro adicionar todo o agregado a ser utilizado na betoneira junto a 5% da quantidade total de cimento, a mistura foi batida por 1 minuto. Após isso, adicionou-se, o restante dos materiais que foi misturado e batido por mais 3 minutos, a mistura é finalizada deixado em repouso por mais 3 minutos e misturou-se pela última vez por 2 minutos.

Definiu-se 3 composições de corpos de prova na etapa de sua moldagem: corpos de prova formados por uma única camada de concreto drenante com Agregado 1, denominado de CP1 enquanto o CP2 refere-se aos corpos de prova compostos por concreto drenante com Agregado 2 e o CP3 apresenta duas camadas, na proporção de 30% da altura formada por concreto drenante com Agregado 2 sendo a camada superior e 70% com Agregado 1, conforme a Figura 1, Figura 2, Figura 3 e Figura 4 abaixo:



Figura 1 – Corpo de prova de agregado 1



Figura 2 – Corpo de prova de agregado 2



Figura 3 – Corpo de prova de agregado 1 + agregado 2

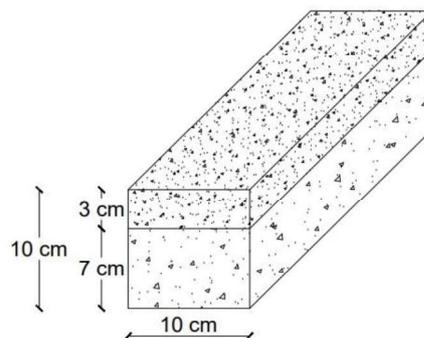


Figura 4 – Esquema de separação dos agregados na composição do corpo de prova

Foram moldados 18 corpos de prova prismáticos com dimensões de 10 cm x 10 cm x 40 cm, sendo 3 unidades para o ensaio de resistência à tração na flexão em cada idade de 3 e 28 dias para cada tratamento, conforme apresentado na Tabela I.

Foram moldados também 3 corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm para o ensaio de resistência a compressão na idade de 28 dias.

Tabela I – Quantitativo de corpos de prova por ensaio.

Ensaio	Quantidade de corpos de prova por composição		
	CP1	CP2	CP3
Coefficiente de permeabilidade	3	3	3
Resistência à tração na flexão, 3 dias	3	3	3
Resistência à tração na flexão, 28 dias	3	3	3
Resistência à compressão, 28 dias	-	-	3

Os corpos de prova foram compactados em duas camadas, com 25 golpes, com haste metálica, em cada.

4.2.6 Cura

Após 24 horas da moldagem, realizou-se a desmoldagem dos corpos de prova e inseriu-os em sacos plásticos impermeáveis até a realização dos ensaios

4.3 Ensaio realizados nos corpos de prova

4.3.1 Massa fresca

Para as duas faixas granulométricas de agregados (agregado 1 e agregado 2) coletou-se a amostra suficiente para encher um recipiente de volume (V) conhecido, com três camadas e 25 golpes cada, ao final realizou o rasamento da superfície [12]. Os dados coletados para o cálculo da massa fresca (ρ_{ap}) foram a massa do concreto (m) em kg e o volume do recipiente (V) em m^3 obtendo o resultado da massa fresca em kg/m^3 através da Equação F.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \times 1000 (F)$$

4.3.2 Coeficiente de permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade foi determinado por meio de um permeâmetro adaptado conforme estudos sobre o tema [9]. O equipamento é composto por um tubo de uma garrafa de plástico transparente que tem como função a visualização da coluna de água durante o ensaio. Este tubo é acoplado diretamente em uma base de PVC de 10 cm de diâmetro e 8 cm de altura que já

contém o corpo de prova com 6 cm de altura. A base de PVC por sua vez é acoplada em uma caixa cilíndrica com saída de 50 mm ligada a um registro de gaveta que por sua vez é ligado ao dreno, conforme mostrado na Figura 5.



Figura 5 – Permeômetro construído para determinação de coeficiente de permeabilidade.

Para o ensaio do coeficiente de permeabilidade (K) definiu-se a área interna (A_1) do tubo e a área do corpo de prova (A_2) onde ambas são $7,85 \times 10^{-3}$ m. O corpo de prova possui dimensões 10 cm (diâmetro) x 6 cm (altura – L) e o tubo de PVC utilizado para a confecção do permeômetro com 10 cm de diâmetro. Definiu-se também as alturas demarcadas para o cálculo da carga hidráulica sendo 15 cm (H_1) e 4 cm (H_2).

Para a realização do ensaio acoplou-se a base PVC já fixada no corpo de prova à caixa cilíndrica, vedou-se os encaixes com auxílio de cola silicone. Após a secagem foi preenchido com água pelo cilindro até que fosse promovida a saturação do corpo (água escapar pelo dreno), após isso fechou-se a válvula e completou-se com água pelo cilindro até a primeira marcação (H_1), feito isso, abriu-se o registro e quantificou-se o tempo (t) em segundos que a coluna d'água percorreu da marcação H_1 até a marcação H_2 . Com os dados obtidos utilizou-se a lei de Darcy, visualizada na Equação G, para cálculo do coeficiente de permeabilidade.

$$K = \frac{A_1 \times L}{A_2 \times t} \times \log\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \quad (G)$$

4.3.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão [10] foi realizado com as idades de rompimento de 3 e 28 dias de cura, sendo que para cada idade e traço foram confeccionados três corpos de prova prismáticos de dimensão 10 x 10 x 40 cm conforme a Figura 6 abaixo:

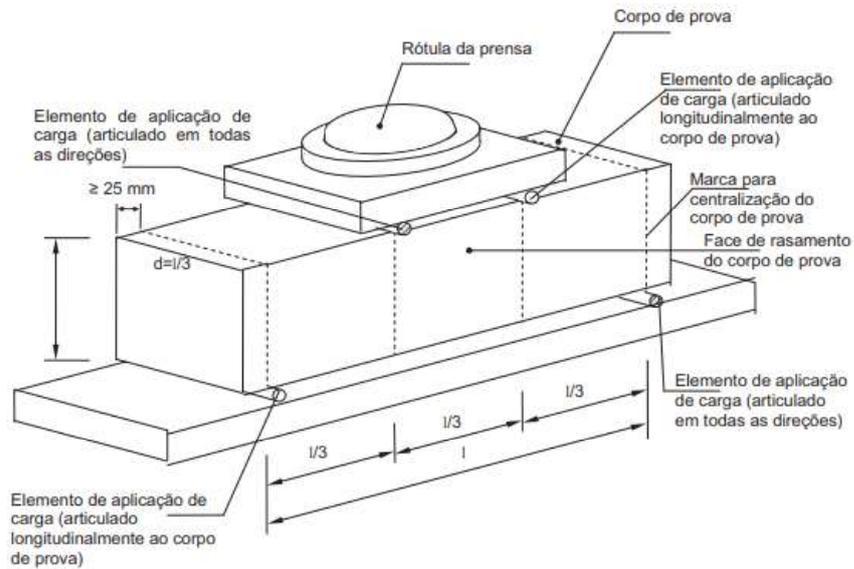


Figura 6 – Esquema para realização do ensaio de tração à flexão
Fonte: NBR 12142 (ABNT 2010)

Para realização do ensaio os corpos de prova foram apoiados e centralizados no dispositivo de carregamento expressado na Figura 7.



Figura 7 – Ensaio de resistência à tração na flexão.

O dispositivo de carregamento utilizado foi uma prensa hidráulica. A carga foi aplicada até que os corpos sofressem ruptura. Conhecido os dados necessários sendo eles: (d) altura média do corpo de prova, (b) largura média do corpo de prova, (l) distância entre cutelos da prensa, todos em

mm e coletando-se os dados de força (p) carga máxima aplicada em N calculou-se a resistência (f_{ctm}) em MPa, através da Equação H.

$$f_{ctm} = \frac{p \times l}{b \times d^2} \quad (H)$$

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de l , calcular a resistência à tração na flexão através da Equação I.

$$f_{ctm} = \frac{3p \times l}{b \times d^2} \quad (I)$$

4.3.4 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão [11] foi realizado na idade de rompimento de 28 dias com corpos de prova tipo CP3. Foram confeccionados três corpos de prova cilíndricos de dimensão 10 x 20 cm conforme a Figura 8.

O dispositivo de carregamento utilizado foi uma prensa hidráulica. A carga foi aplicada até que os corpos sofressem ruptura. Para o rompimento foram utilizados dois discos de Neoprene tipo 70 shore. Conhecido os dados necessários sendo eles: (c) carga de ruptura (a) área da seção transversal, calculou-se a resistência (f) em MPa, através da Equação J.

$$f = \frac{c}{a} \quad (J)$$



Figura 8 – Ensaio de resistência à compressão

5 Resultados e discussão

5.1 Composição granulométrica

As composições granulométricas dos Agregados 1 e 2 são apresentadas na Tabela II.

Tabela II – Composição granulométrica do Agregado 1 e Agregado 2

Peneiras (mm)	% Retida Acumulada		Limites NBR 7211 (5)	
	Agregado 2	Agregado 1	Inferior	Superior
12,5	0	3	0	5
9,5	0	21	2	15
6,3	4	57	40	65
4,75	47	81	80	100
2,36	100	100	95	100
fundo	100	100	-	-

1 – Admite-se a variação de cinco unidades percentuais em apenas um dos limites NBR 7211 (ABNT,2009)

Observando a Tabela II nota-se que, o Agregado 1 respeitou os limites normativos exceto na peneira de 9,5 mm. Já o Agregado 2 nas peneiras 9,5 mm, 6,3 mm e 4,75 mm não se adequou aos limites mesmo considerando a variação máxima de cinco unidades percentuais [15].

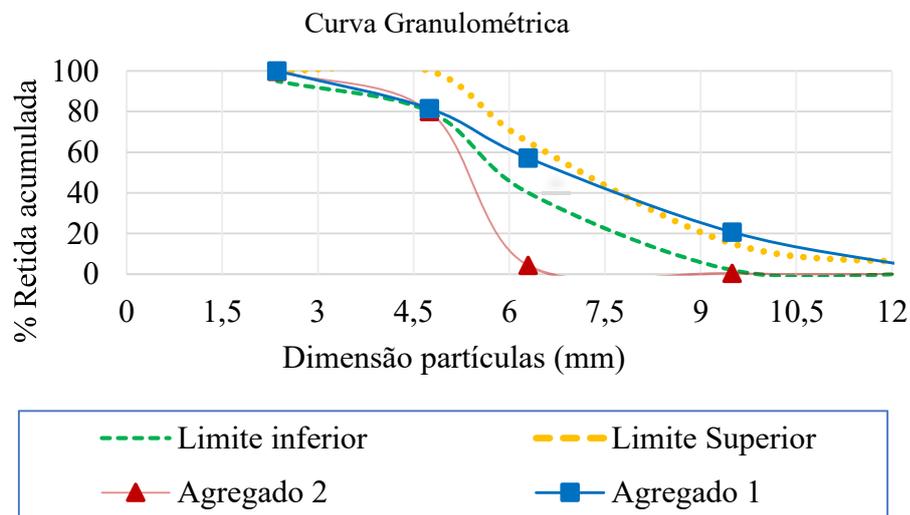


Figura 9 – Gráfico de granulometria dos agregados.

Partindo-se para a observação do gráfico, na Figura 9, nota-se que o Agregado 2 gerou uma granulometria mais fina, entretanto, ambas as misturas demonstraram uma curva contínua. Sabe-se que ao combinar duas dimensões diferentes de agregado ou mais têm-se um teor de vazios reduzidos

em contrapartida a utilização da granulometria mais fina em concretos proporciona influencia diretamente na zona de transição na interface, dessa forma afetando na resistência a compressão em sua melhoria partindo-se do princípio que agregados maiores tendem a formar uma zona de transição na interface mais fraca [17].

5.2 Massa unitária

As massas unitárias das amostras de Agregado 1 e agregado 2 foram 1471 kg/m^3 e 1407 kg/m^3 , respectivamente. Esses valores estão compatíveis com os limites determinados para agregado graúdo, os quais possuem variação de massa unitária definidas entre 1300 e 1750 kg/m^3 [15].

5.3 Massa específica

A massa específica das amostras do Agregado 1 e 2 foram 2680 e 2710 kg/m^3 , respectivamente. Esses valores estão de acordo com os limites determinados que definem a variação de massa específica entre 2600 e 3000 kg/m^3 [17].

5.4 Massa específica do concreto fresco e absorção

As massas específicas para as amostras avaliadas foram de $1620,42 \text{ kg/m}^3$ para traço do Agregado 1 e de $1637,50 \text{ kg/m}^3$ para traço do Agregado 2, para absorção obteve-se $3,20\%$ para agregado 1 e $3,23\%$ para agregado 2. Ambos traços foram efetivos com relação ao parâmetro que relaciona a faixa adequada entre 1600 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 [5]. Observa-se também que o traço que obteve maior massa específica foi o que utilizou o agregado 2 (partículas menores) isso pode ser afirmado conforme o preenchimento dos vazios do concreto resultando em um aumento da massa de específica.

5.5 Coeficiente de permeabilidade

Os resultados do ensaio de coeficientes de permeabilidade realizado nos agregados são apresentados na tabela III.

Tabela III – Coeficiente de permeabilidade dos corpos de prova

Dados	Agregado 1	Agregado 2	Agregado 1 + Agregado 2
t (s)	5,87447	2,8495	3,786
K (m/s)	$13,5 \times 10^{-3}$	$27,83 \times 10^{-3}$	$20,95 \times 10^{-3}$

O concreto permeável deve ter coeficiente de permeabilidade superior a 10^{-3} m/s logo os traços utilizando os dois tipos de agregados foram eficientes na permeabilidade [5]. Mesmo que fosse feita a utilização apenas do Agregado 1 seria permitido diante dos limites de coeficiente de permeabilidade estarem dentro dos limites normatizados.

Esses resultados, reafirmam estudos [17] onde embora a relação a/c seja essencial para o controle de permeabilidade do concreto esta não é a única já que a permeabilidade do concreto também é definida por sua densidade utilizando agregados bem graduados, onde, o concreto realizado sem finos como o do presente estudo, possui elevada permeabilidade já que se formam caminhos fora da pasta de cimento, chamados tubos porosos.

5.6 Ensaio de resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão são expressos na Tabela IV. Para concreto moldado no local, considerando apenas o tráfego de pedestres, tem-se que a resistência mínima a ser atendida é de 1,0 MPa. Dessa forma, os resultados encontrados para todos os traços respeitam os limites fornecidos [5].

Tabela IV – Ensaio de resistência à tração na flexão

Tipo de CP	Resistência à tração na flexão (MPa)	
	3 dias	28 dias
Agregado 1	0,48 ($\pm 0,08$)	1,43 ($\pm 0,24$)
Agregado 2	0,83 ($\pm 0,13$)	1,13 ($\pm 0,18$)
Agregado 1 + Agregado 2	0,76 ($\pm 0,08$)	1,73 ($\pm 0,11$)

Em busca da confiabilidade dos resultados obtidos realizou-se também o teste de ANOVA, para médias, onde, realizou-se a avaliação de $f > f$ crítico as diferenças entre as médias são estatisticamente significativas.

Tabela V – Ensaio de resistência à tração na flexão

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,304579	2	0,152289	6,618325	0,011558	3,885294
Colunas	2,464749	1	2,464749	107,1152	2,47E-07	4,747225
Interações	0,43326	2	0,21663	9,414492	0,003478	3,885294
Dentro	0,276123	12	0,02301			
Total	3,47871	17				

Nota-se também que todos os traços possuíram um aumento relativo de resistência entre as idades de 3 dias e 28 dias, como pode ser observado na figura 10.

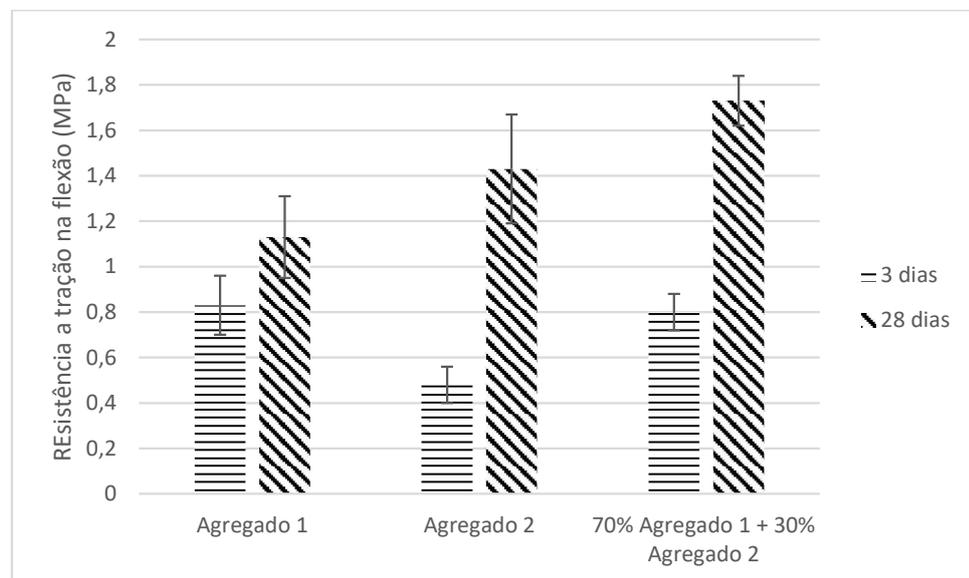


Figura 10 – Resistência à tração na flexão dos corpos de prova

O traço que obteve maior resistência à tração na flexão foi a associação entre o agregado 1 e 2. A segunda maior resistência encontrada foi o traço que utilizou apenas o Agregado 2. Pode-se explicar o aumento de resistência à tração na flexão devido a utilização já citada anteriormente da granulometria mais fina que proporciona influencia diretamente na zona de transição na interface, partindo-se do princípio que agregados maiores tendem a formar uma zona de transição na interface mais fraca [17]. É citado também como fator predominante o empacotamento das partículas mais efetivo onde o processo no qual é realizada a correta seleção da proporção e tamanho dos agregados ao se utilizar os mesmos com diâmetros menores (Agregado 2) [18].

Analisando a Figura 11 abaixo, verificando as fissuras em formato vertical têm-se a confirmação que houve a flexão pura nos ensaios.



Figura 11 – Fissuras após ensaio de resistência mecânica.

5.6 Ensaio de resistência à compressão

O resultado do ensaio de resistência à compressão é expresso na Tabela VI. Para concreto moldado no local, considerando apenas o tráfego de pedestres solicitava-se apenas o ensaio de resistência a tração na flexão, entretanto, realizou-se também o ensaio de compressão nos corpos de prova que continham a combinação agregado 1 e agregado 2 (CP3) para comparação do valor com o estabelecido em norma de 1,0 Mpa [5]. Dessa forma, os resultados encontrados para o traço respeitaram o limite fornecido.

Tabela VI – Ensaio de resistência à tração na flexão

Tipo de CP	Resistência à compressão (MPa)	
	28 dias	
Agregado 1 + Agregado 2	1,11 ($\pm 0,11$)	

6 Conclusão

Com os resultados apresentados pode-se concluir que a aplicação do concreto drenante em camadas utilizando o Agregado 1 e Agregado 2 foi eficiente com relação aos limites estabelecidos

por norma de resistência à tração na flexão de 1,0 MPa e coeficiente de permeabilidade de $10^{-3} m/s$, requisitos para tráfego de pedestres com a superfície com 6 cm de altura [5].

A utilização de forma individual dos agregados 1 e 2 podem ser realizadas de acordo com os limites de norma, porém a utilização da associação dos agregados possibilitou um melhor acabamento considerando a economia da não efetuação de todo o concreto drenante feito com o agregado de menor dimensão (Agregado 2).

Considerando a permeabilidade do concreto drenante, a aplicação do Agregado 1 e Agregado 2 em camadas foi mais efetiva do que a utilização somente do Agregado 1, porém em relação a resistência houve um melhor desempenho considerando um aumento de 0,3 Mpa equivalente a 21% de aumento de resistência à tração na flexão.

7 Referências

- [1] CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- [2] NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais, abrangência América do Sul**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 186 p.; TUCCI, 2016
- [3] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Pervious Concrete**. ACI – 522R-06. Michigan, 2006.
- [4] TENNIS, P. D. LEMING, M. LAKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements. Portland Cement Association, skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association**, Silver Spring, Maryland, USA. 2004. 27 p.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16416: Pavimentos Permeáveis de Concreto - requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro; 2015.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro; 2003.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro; 2003.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16972 Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios- Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro; 2021.

- [9] NEITHALATH, N., SUMANASOORIYA, M. S., DEO, O., “Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concrete for permeability prediction”, *Materials Characterization*, v. 61, n.8, pp. 802-813, Ago. 2010.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12142** concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro; 2010.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro; 2018.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9833** Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro; 2009.
- [13] CAMPOS, Bruna Oliveira. **Pavimento permeável incorporado com agregado reciclado de concreto**. 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, 2019.
- [14] SCHAEFER, V. WANG, K. SULEIMAN, M. KEVERN, J. **Mix desing development for pervious concrete in cold weather climates**. Iowa Department of Transportation. 2006
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro; 2009.
- [16] NEVILLE, A. M. **Propriedade do Concreto**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- [17] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 2ª edição; são Paulo: IBRACON. Português, 2014.
- [18] NEVILLE AM, BROOKS JJ. **Tecnologia do Concreto**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman; 2013.
- [19] DE CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, Victor Carlos. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. *Cerâmica*, v. 55, p. 18-32, 2009.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro; 2009.