



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ANA GABRIELA DE OLIVEIRA BARRETO

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES ADITIVOS NO
CONCRETO PERMEÁVEL PARA PERMITIR MISTURA E
TRANSPORTE EM CAMINHÃO BETONEIRA**

BRASÍLIA
2018



ANA GABRIELA DE OLIVEIRA BARRETO

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES ADITIVOS NO
CONCRETO PERMEÁVEL PARA PERMITIR MISTURA E
TRANSPORTE EM CAMINHÃO BETONEIRA**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado
à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Luciana Nascimento Lins

BRASÍLIA

2018

AValiação DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES ADITIVOS NO CONCRETO PERMEÁVEL PARA PERMITIR MISTURA E TRANSPORTE EM CAMINHÃO BETONEIRA

Ana Gabriela de Oliveira Barreto – UniCEUB, PIC Institucional, aluno bolsista
gabrielabarreto@sempreceub.com

Luciana Nascimento Lins – UniCEUB, professora orientadora
luciana.lins@ceub.edu.br

A tecnologia para pavimentos permeáveis carece de estudos aprofundados, uma vez que esse tipo de revestimento trás consigo inúmeros benefícios principalmente no quesito de sustentabilidade, como por exemplo a capacidade de percolação da água através de seus poros, o que evita o acúmulo de lâmina d'água em sua superfície, a possível recarga de lençóis freáticos, a filtragem prévia de sedimentos indesejáveis no solo, dentre outros. O estudo visa o transporte do concreto permeável em seu estado fresco através de caminhão betoneira, a partir de uma análise entre diferentes aditivos e suas combinações através de ensaios sugeridos pela norma NBR 16416:2015 Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimento. Para a realização desse foi aproveitado de pesquisas anteriores parâmetros como traço utilizado, faixa granulométrica de agregados e o tipo de cimento utilizado por Teixeira (2017). Os resultados obtidos demonstraram que é possível produzir concreto permeável com diferentes usos a partir da mesma composição, variando somente o tipo de aditivo utilizado, contudo ainda não foi possível determinar se o transporte é viável.

Palavras-Chave: Sustentabilidade, pavimento permeável, aditivos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Acúmulo de sedimentos em função de alagamentos em Brasília	12
Figura 2- Extração de agregado em jazida.....	17
Figura 3- Composição do traço	45
Figura 4 - Corpos de prova prismáticos	50
Figura 5- Corpo de prova cilíndrico	51
Figura 6- Moldagem da placa para determinação do coeficiente de permeabilidade.....	51
Figura 7- Corpos de prova para resistência à compressão.....	52
Figura 8- Slump test	58
Figura 10- Realização do ensaio de tração na flexão	66
Figura 11- Traço P2C ao ser desmoldado	68
Figura 12- Placa de concreto drenante	72
Figura 13 - Revestimento do equipamento com bentonita	74
Figura 14 - Ensaio de permeabilidade em andamento.....	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico representativo da Lei de Abrams	21
Gráfico 2- Resistência à compressão (dividido por 10) e resistência à tração na flexão com relação ao número de vazios.	28
Gráfico 3- Curvas granulométricas típicas de mistura para concreto permeável	29
Gráfico 4- Relação entre o índice de vazios e a condutividade hidráulica do concreto permeável.....	32
Gráfico 5- Cálculo do Módulo de Elasticidade.....	38
Gráfico 6- Exemplo de diagrama de dosagem	40
Gráfico 7- Análise granulométrica brita 0	54
Gráfico 8 - Curva granulométrica brita 1	55
Gráfico 9 -Curva granulométrica areia artificial	57
Gráfico 10- Análise de temperatura do traço P	59
Gráfico 11 - Análise de temperatura do traço P1	59
Gráfico 12 - Análise de temperatura do traço P2	60
Gráfico 13 - Análise de temperatura do traço P3	60
Gráfico 14 - Análise de temperatura do traço P1C.....	61
Gráfico 15 - Análise de temperatura do traço P2C.....	61
Gráfico 16 - Análise de temperatura do traço P3C.....	62
Gráfico 17 - Análise de temperatura do traço E	62
Gráfico 18- Comparação de temperatura entre traços.....	64
Gráfico 19 - Análise entre traços da resistência à compressão.....	69
Gráfico 20 - Gráfico de linhas referente à resistência à compressão	70
Gráfico 21 – Comparação do coeficiente de permeabilidade	73
Gráfico 22 - Comparação entre ensaios de permeabilidade	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de "c" adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo ...	13
Tabela 2 - Nomenclatura dos cimentos Portland em 1997.....	16
Tabela 3 - Classificação da areia a partir do módulo de finura	18
Tabela 4 - Classificação do agregado graúdo a partir do módulo de finura	20
Tabela 5 - Características dos aditivos	23
Tabela 6 - Classificação de adições minerais	23
Tabela 7 - Consumo e proporções típicas de materiais para a produção de concreto permeável.....	27
Tabela 8 - Consumo e proporções de materiais utilizados para a produção de concreto permeável.....	27
Tabela 9 - Determinação do coeficiente de permeabilidade	31
Tabela 10 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.....	31
Tabela 11 - Requisitos mínimos para concretos permeáveis.....	32
Tabela 12- Relação tempo e massa de água.....	36
Tabela 13 - Requisitos mínimos para resistência mecânica e espessura do concreto permeável.....	37
Tabela 14 - Nomenclatura utilizada em cada traço	42
Tabela 15 - Relação água cimento utilizada	48
Tabela 16- Adensamento nos corpos de prova.....	50
Tabela 17- Resistência à compressão do cimento.....	52
Tabela 18- Análise granulométrica Brita 0	54
Tabela 19 - Análise granulométrica Brita 1.....	56
Tabela 20 - Análise granulométrica Areia artificial	57
Tabela 21 - Análise de temperatura	63
Tabela 22 - Resumo de temperatura entre traços.....	64
Tabela 23- Análise de temperatura entre os traços.....	65
Tabela 24 - Resistência à tração na flexão	67
Tabela 25- Resumo de resistência à compressão	68
Tabela 26 - Incremento de resistência ocasionado pelo consumo de aditivo ..	69
Tabela 27 - Determinação da massa específica	71

Tabela 28 - Coeficiente de permeabilidade	73
Tabela 29- Coeficiente permeabilidade de acordo com a NBR 13292.....	75
Tabela 30- Comparação entre ensaios de permeabilidade.....	76
Tabela 31 - Nomenclatura utilizada.....	78

SUMÁRIO

1.	INTRODUCAO	10
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1.	Drenagem Urbana.....	12
2.2.	Escoamento Superficial.....	12
2.3.	Concreto tradicional	14
2.3.1.	Composição do concreto	14
2.3.1.1.	Cimento Portland.....	14
2.3.1.2.	Agregados.....	16
2.3.1.3.	Agregado miúdo	17
2.3.1.4.	Agregado graúdo	19
2.3.1.5.	Água	20
2.3.1.6.	Aditivos	22
2.3.2.	Propriedades do concreto fresco	24
2.4.	Concreto Permeável.....	25
2.4.1.	Materiais constituintes.....	26
2.4.1.1.	Cimento	27
2.4.1.2.	Agregado miúdo	28
2.4.1.3.	Agregado graúdo	28
2.4.1.4.	Água	29
2.4.1.5.	Aditivos	29
2.4.2.	Propriedades do concreto permeável	30
2.4.2.1.	Propriedades do concreto permeável no estado fresco.....	30
2.4.2.2.	Propriedades do concreto permeável no estado endurecido.....	30
2.4.3.	Propriedades do concreto endurecido	37
2.4.4.	Mistura e moldagem dos corpos de prova.....	39
2.4.5.	Método de dosagem.....	40
3.	METODOLOGIA	42
3.1.	Materiais utilizados.....	43
3.1.1.	Cimento Portland	43
3.1.2.	Agregado Graúdo	43
3.1.3.	Agregado Miúdo.....	43
3.1.4.	Água.....	44
3.1.5.	Aditivos e Adições	44

3.2.	Caracterização dos materiais utilizados	45
3.2.1.	Cimento	45
3.2.1.1.	Resistência à compressão	45
3.2.1.2.	Pasta de consistência normal.....	46
3.2.1.3.	Tempos de início e fim de pega	46
3.2.1.4.	Índice de finura.....	46
3.2.2.	Brita 0.....	46
3.2.2.1.	Composição granulométrica.....	46
3.2.2.2.	Massa específica.....	47
3.2.3.	Brita 1.....	47
3.2.3.1.	Composição granulométrica.....	47
3.2.3.2.	Massa específica.....	47
3.2.4.	Areia.....	47
3.2.4.1.	Composição granulométrica.....	47
3.2.4.2.	Massa específica.....	47
3.3.	Caracterização dos materiais utilizados	48
3.4.	Mistura e moldagem dos corpos de prova	48
4.	RESULTADOS	52
4.1.	Caracterização dos materiais	52
4.1.1.	Cimento	52
4.1.2.	Brita 0.....	53
4.1.3.	Brita 1.....	55
4.1.4.	Areia.....	56
4.2.	Verificação no estado fresco	58
4.2.1.	Abatimento de tronco de cone (slump)	58
4.2.2.	Temperatura	58
4.3.	Verificação no estado endurecido.....	65
4.3.1.	Resistência à tração na flexão.....	65
4.3.2.	Resistência à compressão	67
4.3.3.	Determinação da massa específica.....	70
5.3.4.	Determinação do coeficiente de permeabilidade	71
5.3.4.1.	Ensaio a partir do Anexo A da NBR 6416.....	71
5.3.4.2.	Ensaio a partir da NBR 13292.....	74
5.3.4.3.	Comparativo entre os ensaios de permeabilidade	75
5.	CONCLUSÃO.....	78
6.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	80

1. INTRODUCAO

A alta taxa de impermeabilização do solo nunca foi tão discutida como atualmente. Um dos fatores que compõe o aumento dessa taxa é a ocupação do solo de forma desorientada. O acréscimo dessa taxa tornou-se um fator contribuinte para a ineficácia dos sistemas de drenagem urbana, não só no Brasil, como no mundo. (BARRETO, 2018).

Brasília, dentre outras cidades mundiais, tem grandes casos de inundações e alagamentos, grande parte dessas ocorrências é causada pela falta de estrutura de drenagem adequada no pavimento.

Uma possível solução para essa adversidade seria o aumento do tempo de percolação da água pluvial na infiltração do solo. Com isso, surge a ideia da criação de um concreto poroso, onde os vazios têm a capacidade de drenar a lâmina d'água, oriundas de uma série de fatores mas o principal é a chuva, e que resista à carga proveniente de veículos leves, pedestres e afins. (SILVA, PASSOS, 2015).

Os pavimentos permeáveis podem reduzir a velocidade do escoamento superficial, a retenção temporária de pequenos volumes na superfície do revestimento e a infiltração de parte das águas pluviais. Esse tipo de revestimento quando combinado com uma estrutura porosa de base e sub-base tem resultados mais satisfatórios do que a aplicação de uma camada de CPA (camada porosa de atrito), por exemplo (VIRGILIIS, 2009).

O concreto permeável possui uma série de benefícios ao meio ambiente, os quais se destacam a reutilização da água drenada pelo mesmo, pode-se também, obter a recarga de lençol freático, aumentando a captação de águas pluviais e probabilidade de redução de enchentes e alagamentos na área onde esse fora implantado.

Com a manutenção adequada, a vida útil do pavimento de concreto permeável pode chegar até 20 anos (BENIGNO, 2012). Contudo, acredita-se que há uma necessidade de mais estudos e pesquisas nessa área para a confirmação de que com a redução da lâmina d'água, pode ocasionar em uma redução de problemas oriundos da ineficácia da drenagem urbana. Bem como

gerar uma economia para o estado, no que tange manutenção do pavimento e do sistema de drenagem.

O objetivo da pesquisa foi buscar uma melhora na trabalhabilidade do concreto permeável aditivado, para permitir o transporte e lançamento *in loco* com o uso do caminhão betoneira.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Drenagem Urbana

A ocupação desordenada ocorrida no Brasil gerou diversas adversidades quando relacionada à drenagem urbana. A impermeabilização do solo, por exemplo, está cada vez mais comum nas cidades, ocasionando a dificuldade de percolação da água nas camadas do solo, acarretando em um acréscimo de volume de água na superfície. Como consequência, o tempo de ocorrência de picos de vazão será diminuído e ocasionará inundações. (OLIVEIRA E SILVA, 2016)

Segundo Aluísio Canholi (2014), a falta de planejamento para a macrodrenagem é o principal responsável pela situação crítica em que vivemos hoje.

A figura 1 mostra o resultado da ineficiência da drenagem após uma chuva.

Figura 1- Acúmulo de sedimentos em função de alagamentos em Brasília



Fonte <https://fotospublicas.com/chuva-alaga-bairro-e-caoa-destruicao-em-brasilia/>

2.2. Escoamento Superficial

A ocupação desordenada ocorrida no Brasil gerou diversas adversidades quando relacionada à drenagem urbana. A impermeabilização do solo, por exemplo, está cada vez mais comum nas cidades, ocasionando a dificuldade de percolação da água nas camadas do solo, acarretando em um acréscimo de

volume de água na superfície. Como consequência, o tempo de ocorrência de picos de vazão será diminuído e ocasionará inundações. (OLIVEIRA E SILVA, 2016).

Em função da ineficácia da macrodrenagem, a água pluvial pode causar numerosas consequências não só sociais, conforme já citado, mas também ambientais, como erosões, aumento de risco de desabamento, dentre outras (ONO, BALBO & CARGNIN, 2017).

O coeficiente de escoamento varia de acordo com a relevância da precipitação, ou seja, é a relação entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado. Portanto, é possível concluir que quando maior o coeficiente de escoamento menor a capacidade de infiltração (TUCCI, 2000).

Analisando a tabela 1 é notório que em zonas com edificações muito densas, 95% da água precipitada não é drenada superficialmente. Áreas com alto índice de impermeabilização se enquadram nessa categoria também.

Tabela 1 - Valores de "c" adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo

Zonas		Coeficiente de escoamento
1	de edificação muito densa	0,70 a 0,95
2	de edificação não muito densa	0,60 a 0,70
3	de edificações com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
4	de edificações com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
5	de subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
6	de matas, parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

Fonte WILKEN, 1978

Após estudos, foi possível destacar que pavimentos feitos de concreto permeável, possuem coeficientes de escoamento inferiores a 5%, em alguns

casos, a drenagem da água foi completa, e ainda mantém a área útil do local. (MARCHONI, SILVA E MAYOR, 2011).

Assim, conclui-se que o concreto permeável além de ser uma solução para correção de disfunções provenientes da falta de planejamento de drenagem urbana atua também como uma medida de prevenção desses (BARRETO, 2018).

2.3. Concreto tradicional

Apesar de ser complexo, uma definição global do concreto, tem-se como um conceito genérico que o concreto é oriundo de qualquer produto ou massa onde tem-se o uso de um meio cimentante. (NEVILLE E BROOKS,2013).

Por ser um dos materiais mais utilizados no mundo, é notório sua importância no meio da construção civil. Por possuir resistência à intemperes é superior quando comparados à outros métodos construtivos, principalmente a água, o uso do concreto é uma solução ideal para a produção de edificações, pontes, pavimentos, etc. (NETO, 2015)

2.3.1. Composição do concreto

O concreto tradicional é composto por cimento, agregados, miúdos e graúdos, e água. Contudo, existe uma série de materiais que podem ser adicionados a essa mistura esses podem ser aditivos, por ter funções variadas. O uso de adições também é bastante comum, adições como materiais pozolânicos, gesso, materiais carbonáticos no cimento, são exemplos de fácil acesso no mercado.

Assim, cada componente desse híbrido atua de forma específica para a conquista das propriedades desejadas para o concreto final, sendo que a proporção dos materiais varia de acordo com o método de dosagem e aplicação desejada. (NETO, 2015)

2.3.1.1. Cimento Portland

Em 1824, um construtor britânico chamado Joseph Aspdin patenteou o cimento com o nome de “Portland”, em função das semelhanças com as rochas da ilha britânica de Portland.(NETO,2015)

De acordo com o Guia básico de utilização do cimento Portland da Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP (2002) o cimento Portland é um pó fino, proveniente da moagem do clínquer, composto hidráulico, com propriedades ligantes, aglomerantes ou aglutinantes, que reagem quimicamente ao entrar em contato com a água.

Podem ser adicionados, junto à matéria prima do cimento, materiais para fins específicos como o gesso que atua no auxílio do tempo de pega, já materiais pozolânicos atuam na impermeabilidade no cimento, já os materiais carbonáticos exercem a função de melhora de trabalhabilidade e, por fim, a escória de alto forno operam para melhorar a resistência e a durabilidade. (ABCP, 2002).

Atualmente existem diversos tipos de cimentos sendo comercializados e/ou estudados. A principal diferença entre esses, é adição de compostos e materiais na moagem do clínquer. Na tabela 2 proveniente do Guia básico da ABCP é possível verificar os diferentes tipos de cimento e as respectivas normas da ABNT que os regulam.

Tabela 2 - Nomenclatura dos cimentos Portland em 1997

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe	Norma
Cimento portland comum	Cimento portland comum	CP I	25 32 40	CP I-25 CP I-32 CP I-40	NBR 5732
	Cimento portland comum com adição	CP I-S	25 32 40	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40	
Cimento portland composto	Cimento portland composto com escória	CP II-E	25 32 40	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40	NBR 11578
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z	25 32 40	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40	
	Cimento portland composto com filler	CP II-F	25 32 40	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40	
Cimento portland de alto-forno		CP III	25 32 40	CP III-25 CP III-32 CP III-40	NBR 5735
Cimento portland pozolânico		CP IV	25 32	CP IV-25 CP IV-32	NBR 5736
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V-ARI	-	CP V-ARI	NBR 5733
Cimento portland resistente aos sulfatos		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP III-40RS	NBR 5737
Cimento portland de baixo calor de hidratação		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP III-40BC	NBR 13116
Cimento portland branco	Cimento portland branco estrutural	CPB	25 32 40	CPB-25 CPB-32 CPB-40	NBR 12989
	Cimento portland branco não estrutural	CPB	-	CPB	
Cimento para poços petrolíferos		CPP	G	CPP – classe G	NBR 9831

Fonte ABCP,2002

2.3.1.2. Agregados

Proveniente de uma rocha mãe, o agregado natural é extraído através do processo de britagem ou intemperismo da rocha.

Ocupando, normalmente 75% da composição do concreto, o agregado é um fator crucial para uma boa execução do concreto, considerando sua real importância para a durabilidade e desempenho estrutural final do produto. (BARRETO, 2018).

Entretanto, o agregado não é inerte como muitos autores acreditam. Suas propriedades físicas e térmicas podem influenciar no desempenho do concreto final. (NEVILLE E BROOKS, 2013).

A classificação dos agregados é dividida em três partes, granulometria, natureza e a partir de sua massa específica. A partir de sua granulometria, tem-se agregado graúdo (brita, seixo, pedra-pomes, dentre outros) e agregado miúdo (areia, vermiculita, argila, dentre outros). De acordo com sua natureza, é possível obter agregado oriundo da extração da natureza ou artificiais, esses que necessitam do homem para realizar a produção do mesmo. Por fim, tem-se os agregados leves, normais e pesados, definidos de acordo com sua massa específica aparente.

A divisão entre o agregado graúdo e miúdo é feito na peneira nº 200 (4,75mm). O material retido é definido como agregado graúdo enquanto o passante é definido como miúdo. A figura 2 demonstra o processo de extração de agregado em jazida.

Figura 2- Extração de agregado em jazida



Fonte <http://icsa.pt/client/skins/galeria.asp?page=101>

2.3.1.3. Agregado miúdo

Para o uso adequado do material, é de suma importância o conhecimento de seus parâmetros e características. Para as areias, os mais relativos à serem determinados e suas referentes normas de procedimento de ensaios são:

I. Composição Granulométrica (NBR NM 248)

A determinação da composição granulométrica do agregado é verificada de acordo com os procedimentos prescritos na NBR NM 248 (ABNT, 2003). A

partir do ensaio de granulometria os resultados são a curva granulométrica, dimensão máxima característica (DMC) e o módulo de finura (MF).

O módulo de finura é calculado a partir da soma das porcentagens retidas, acumuladas em massa, do agregado, nas peneiras da série normal (76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm), dividida por 100 (ABNT, 2003).

A partir do cálculo citado no parágrafo anterior, as areias podem ser classificadas de acordo com os valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da areia a partir do módulo de finura

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
 NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
 NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte ABNT 7211, 2009

Entretanto, a dimensão máxima característica (DMC) é definida através da grandeza associada distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (NBR 7211, 2009).

I. Massa unitária

A massa unitária, também conhecida como massa específica aparente, é a relação entre a massa do agregado e o seu volume total. As diretrizes necessárias para a determinação da massa unitária estão descritas na NBR NM 45 (ABNT, 2006).

II. Massa específica

É a relação entre a massa do agregado seco em estufa (100 °C a 110 °C) até constância de massa e o volume igual do sólido, incluídos os poros impermeáveis. Os procedimentos para a determinação da massa específica estão descritos na NBR 9776 (ABNT, 1987).

III. Material Pulverulento

A NBR NM 46:2003 estabelece o método para a determinação por lavagem em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 75 µm.

2.3.1.4. Agregado graúdo

Equivalente ao agregado miúdo, o uso adequado do material, é de suma importância o conhecimento de seus parâmetros e características. Para as areais, os mais relativos a serem determinados e suas referentes normas de procedimento de ensaios são:

I. Composição Granulométrica (NBR NM 248)

A determinação da composição granulométrica do agregado graúdo é ensaiada conforme os procedimentos prescritos na NBR NM 248 (ABNT, 2003). A partir desse ensaio, tem-se a curva granulométrica, dimensão máxima característica (DMC) e o módulo de finura (MF).

As particularidades da curva granulométrica dos agregados, disposição e proporção de granulometrias diferentes acarreta, diretamente, em alterações de propriedades do concreto, como porosidade, consumo de cimento, bombeabilidade, etc. (NETO, 2015).

O agregado graúdo pode ser classificado de acordo com os valores apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Classificação do agregado graúdo a partir do módulo de finura

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ^b	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ^b	65 ^b - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ^b - 65 ^b	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (*d*) e à maior (*D*) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte ABNT 7211, 2009

A granulometria não é fixa, podendo ser então contínua, aberta ou uniforme, entretanto é importante o conhecimento e a descrição da granulometria do agregado graúdo em razão da sua interferência direta no resultado final do concreto produzido. (BARRETO, 2018).

I. Massa unitária

A massa unitária do agregado graúdo tem a mesma definição que a massa unitária do agregado miúdo e segue as premissas da NBR NM 45 (ABNT, 2006).

II. Massa específica

É a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis, conforme NBR NM 52 (ABNT, 2009).

2.3.1.5. Água

A água é a responsável para a reação química com ligante hidráulico (cimento Portland), modificando assim a forma física do ligante de pó para pasta, esta pode ser mais fluída ou não, depende do objetivo do projeto. A relação água

cimento (a/c) é a quantidade de água necessária para garantir uma melhor trabalhabilidade para o concreto. Essa depende de múltiplos elementos, tais como finura do cimento, e das próprias condições de trabalhabilidade exigidas para o projeto (NETO, 2015).

Para melhores resultados a água não deve conter substâncias orgânicas indesejáveis ou componentes inorgânicos em quantidades abundantes. (NEVILLE E BROOKS, 2013)

Existe um parâmetro entre a relação a/c e a resistência à compressão e o mesmo pode ser calculado a partir da Lei de Abrams:

$$R = \frac{A}{B^X}$$

Equação 1- Lei de Abrams

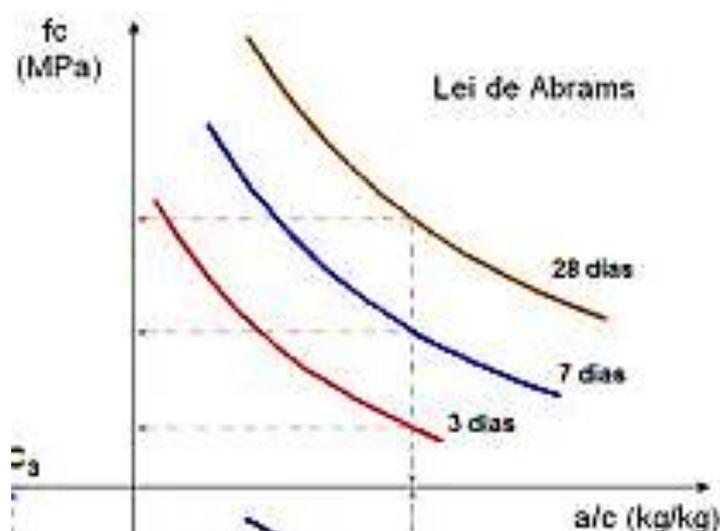
R = resistência do concreto

A e B = constantes empíricas

X = relação água/cimento (a/c)

O gráfico 1 representa três curvas, onde os parâmetros para a determinação foram a resistência do concreto juntamente com a relação água e cimento. Nota-se um ponto adequado em cada curva, estas são diferenciadas pela sua idade, onde há a quantidade necessária de água para a resistência almejada.

Gráfico 1 - Gráfico representativo da Lei de Abrams



Fonte HELENE E TERZIAN, 1993

2.3.1.6. Aditivos

Aditivos e adições são materiais responsáveis pela melhoria das características, já existentes no concreto, de forma a adequá-las de acordo com as especificidades de projeto. Por definição, tem-se aditivo como “produto adicionado durante o processo de preparação do concreto em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo de concreto colorido.”

As adições minerais são classificadas como subproduto pozolânico ou cimentício e podem proporcionar novas propriedades ao produto final. (NETO, 2015).

Existe uma infinidade de aditivo presente no mercado atualmente. A tabela 5 descreve os efeitos, vantagens e desvantagens de cada tipo de aditivo.

Tabela 5 - Características dos aditivos

Tipos	Efeitos	Vantagens	Desvantagens
Plastificante	Aumenta o índice de consistência possibilita a redução de pelo menos 6% da água de amassamento	Maior trabalhabilidade e menor consumo de cimento para uma determinada resistência e trabalhabilidade	Retarda o início de pega para dosagens elevadas do aditivo, aumentando o risco de segregação
Retardador de pega	Aumenta o tempo de início da pega	Mantém a trabalhabilidade a temperaturas elevadas, retarda a elevação do calor de hidratação e amplia os tempos de aplicação	Pode promover exsudação e pode aumentar a retração plástica do concreto
Acelerador de pega	Pega mais rápida e uma resistência inicial mais elevada	Ganho de resistência em baixas temperaturas e redução do tempo de desfôrma	Possível fissuração devido ao calor de hidratação risco de corrosão de armaduras
Plastificante e retardador	Efeito combinado do plastificante e retardador de pega	Reduz a perda de consistência em climas quentes e úmidos	Aumento da exsudação e retração plástica e do risco de segregação
Plastificante e acelerador	Efeito combinado do plastificante e acelerador de pega	Reduz a quantidade de água e permite ganho mais rápido de resistência	Risco de corrosão de armadura
Incorporador de ar	Incorpora pequenas bolhas de ar no concreto	Aumenta a durabilidade ao congelamento do concreto sem elevar o consumo de cimento e o conseqüente aumento do calor de hidratação; reduz o teor de água e a permeabilidade do concreto	Necessita um controle mais cuidadoso da porcentagem de ar incorporado e do tempo de mistura
Superplastificante	Elevado aumento do índice de consistência, o que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da água de amassamento	Eficiente redutor de água, proporcionando ganhos de resistência para determinada trabalhabilidade, e reduz o consumo de cimento	Riscos de segregação da mistura. O efeito do fluidificante é num tempo menor do que o plastificante, podendo elevar a perda de consistência

Fonte (ABCP,2007)

Quanto as adições minerais, são classificadas conforme a tabela 6.

Tabela 6 - Classificação de adições minerais

Cimentantes	⇒	Escória granulada de alto-forno
Cimentantes e pozolânicos	⇒	Cinza volante com alto teor de cálcio (CaO > 10%)
Super-pozolanas	⇒	Sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz produzida por combustão controlada (predominantemente amorfa)
Pozolanas comuns	⇒	Cinza volante com baixo teor de cálcio (CaO < 10%), argilas calcinadas, cinzas vulcânicas
Pozolanas pouco reativas	⇒	Escórias de alto-forno resfriada lentamente, cinza de casca de arroz predominantemente cristalina
Filer	⇒	Calcáreo, pó de quartzo, pó de pedra

Fonte adaptado de MEHTA & MONTEIRO,2008 e RILEM, 1998

2.3.2. Propriedades do concreto fresco

Para uma melhor compreensão das propriedades, é indicado estudar dois diferentes estados o fresco e o endurecido. Ao analisar as características e propriedades do estado fresco, é necessário ponderar as condições de lançamento e adensamento da pasta, tempo de transporte e os restantes fatores referentes à concretagem. Entretanto, ao estudar as características e propriedades do estado endurecido devem-se respeitar as necessidades de solicitação de projeto.

As propriedades dos componentes do concreto tais como granulometria dos agregados, relação água/cimento, tipo de cimento escolhido, uso de aditivos ou adições tem impacto direto no produto final. O concreto ideal, não é o mais barato, e sim o que atende melhor as condições impostas em projeto, permanecendo resistente e durável ao longo de sua vida útil.

I. Trabalhabilidade

A definição de trabalhabilidade se dá a partir das características e propriedades do concreto produzido devem ser de acordo com sua finalidade. Características como, homogeneidade da mistura, não exsudação durante o transporte dentre outras não podem comprometer o transporte e adensamento do produto.

Existem dois tipos de fatores que interferem na trabalhabilidade do concreto. Os fatores internos e externos. Como exemplos de fatores internos, têm-se aditivos, forma e granulometria dos grãos, tipo e finura do cimento utilizado, proporções do traço adotado e a consistência da pasta. Contudo os fatores externos podem ser a forma, ou ordem, de mistura dos componentes, o transporte, lançamento e adensamento do concreto pronto e por fim a finalidade adotada.

II. Tempo de trabalhabilidade

O tempo de trabalhabilidade é definido como, o tempo em que o concreto conserva-se em suas condições ideais para o trabalho o qual foi definido (NETO, 2015).

III. Tempo de pega

A NBR NM 9:2002, define tempo de início de pega como o tempo decorrido após o contato inicial do cimento com a água de amassamento, necessário para uma argamassa atingir a resistência à penetração igual a 3,4 MPa.

Esta mesma norma define o tempo de fim de pega como o tempo decorrido após o contato inicial do cimento com a água de amassamento, necessário para uma argamassa atingir a resistência à penetração igual a 27,6 MPa.

IV. Coesão

A coesão do concreto, não significa homogeneidade do mesmo e sim, a coesão significa que o produto final esteja de acordo com o tipo de aplicação pré-definido em projeto. A correta dosagem dos materiais é a responsável pela coesão do concreto produzido (BARRETO, 2018).

É importante ressaltar que a falta de coesão dos compostos pode causar segregação do concreto, ou seja, uma separação entre a pasta cimentícia e os grãos do deste. Essa separação pode ser facilmente causada pela ausência de envolvimento dos grãos com a pasta, e como consequência é possível gerar em uma perda de trabalhabilidade.

2.4. Concreto Permeável

Ainda que, há registros do uso de concreto com a taxa de agregado graúdo superior, ou somente o uso deste, desde o pós guerra, a comunidade acadêmica vêm se mostrando interessada no assunto há alguns anos. Com o objetivo de reduzir, ou até sanar, as dificuldades de drenagem urbana, constitui-se esse material especial, denominado Concreto Permeável (SCHEWETZ et al, 2014).

A principal diferença entre o concreto convencional e o permeável é a sua finalidade. O intuito da produção do concreto drenante é justamente para drenar a lâmina d'água da superfície. A partir dessa drenagem de água, é possível realizar diversos procedimentos com esta, dentre eles recarregar aquíferos subterrâneos. De acordo com estudos recentes da EPA (U.S Environmental Protection Agency) o concreto permeável ao ser usado em pavimentações, reduz consideravelmente os itens de poluição difusa oriunda de óleos e outras substâncias encontradas nas pistas de tráfego.

O concreto permeável foi definido em três categorias as quais são:

- Concreto permeável hidráulico, definido com baixa resistência mecânica e elevada condutividade hidráulica, para fins não estruturais.
- Concreto permeável normal, com resistências e condutividade hidráulica intermediárias, podendo ser utilizado em estacionamentos e calçadas.
- Concreto permeável estrutural, esse possui uma elevada resistência mecânica e baixa permeabilidade, característica essa proveniente do baixo uso de agregado miúdo na composição, a partir de sua elevada resistência mecânica, esse pode ser utilizado em lugares que possuam tráfego de veículos pesados. (DELLATE E CLEARLY, 2006).

-

2.4.1. Materiais constituintes

Os materiais usados para a fabricação do concreto permeável são os mesmos utilizados no concreto convencional. Contudo, em função de possuir um elevado índice de vazios é indicado, para esse tipo de concreto, traços com uma concentração maior de agregado graúdo, assim a grande variação entre os dois tipos de concreto, será a excessiva diminuição de agregado miúdo, ou de acordo com Batezini (2013) é possível de realizar o traço sem a utilização desse.

Após uma análise de estudos realizados, chegou-se a uma proporção adequada para a realização do concreto permeável. É possível verificar essa proporção na tabela 7. Entretanto, manteve-se o mesmo consumo e traço utilizado por Barreto (2018), conforme a tabela 8.

Tabela 7 - Consumo e proporções típicas de materiais para a produção de concreto permeável

Materiais	Consumo/proporção
Ligante hidráulico (cimento) [kg/m ³]	270
Agregado graúdo [kg/m ³]	1.190 a 1700
Relação a/c em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 a 1:4,5
Relação agreg. Miúdo/agreg. Graúdo em massa (areia-brita)	0 a 1:1

Fonte NETO, 2015

Tabela 8 - Consumo e proporções de materiais utilizados para a produção de concreto permeável

Materiais	Consumo/proporção
Ligante hidráulico (cimento) [kg/m ³]	336
Agregado miúdo [kg/m ³]	215,04
Agregado graúdo (brita 0 e 1) [kg/m ³]	1128,96
Relação a/c em massa	0,27 a 0,35
Relação cimento/agregado em massa	1:4

Fonte BARRETO, 2018

2.4.1.1. Cimento

Na hora da escolha do cimento a ser utilizado, deve-se atentar ao meio no qual o mesmo será aplicado. Em função de sua alta taxa de permeabilidade, acredita-se que o uso de cimentos compostos seja eficaz para a produção do concreto permeável (BARRETO, 2018).

Contudo, a NBR 5733 (ABNT, 1991) define que o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI) como um aglomerante hidráulico com resistência inicial elevada, quando comparado com os demais tipos. Essa característica permite uma agilidade maior na desforma da peça moldada. Com potencial para atingir resistências de até 26,0 MPa com um dia de idade, e chegando até 53,0 MPa com 28 dias, esse tipo de cimento está sendo altamente utilizado na construção civil (TEIXEIRA, 2017).

O alto ganho de resistência inicial nesse tipo de cimento é garantido através de sua elevada pureza e finura. Além dessa característica, esse tem a

capacidade de reduzir o efeito de rápida perda de água por intermédio da maior velocidade de reação desse aglomerante (CADORE et al, 2016).

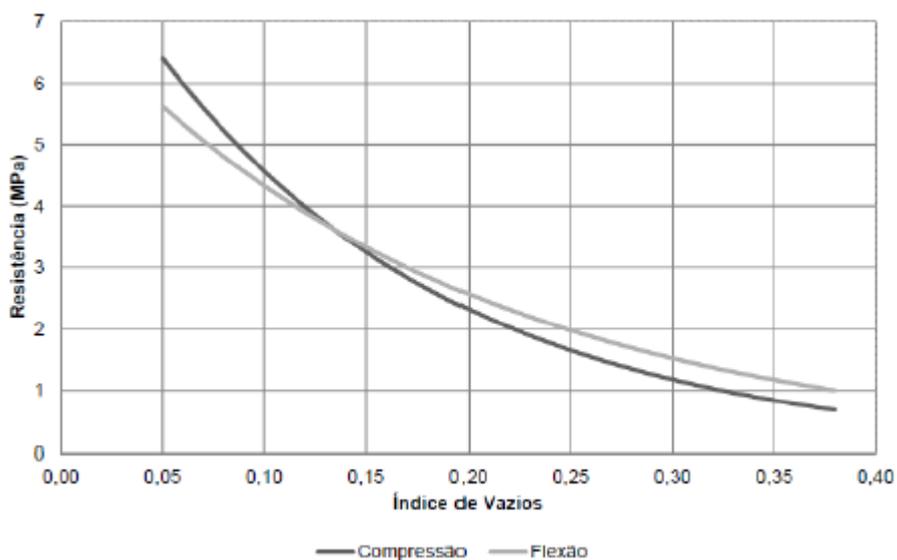
2.4.1.2. Agregado miúdo

Um dos fatores preponderantes para a produção de concreto permeável é evitar a colmatção dos vazios, o agregado miúdo por sua vez, tem grande responsabilidade nesse preenchimento. Deve-se reduzir, ou até mesmo eliminar, esse componente dado sua relação inversamente proporcional com o índice de vazios.

É importante frisar que ao reduzir esse componente, há uma queda na resistência mecânica do produto final. Por isso a importância e análise de caso a caso.

O gráfico 2 mostra a relação do índice de vazios com a resistência à compressão.

Gráfico 2- Resistência à compressão (dividido por 10) e resistência à tração na flexão com relação ao número de vazios.



Fonte BATEZINI, 2013

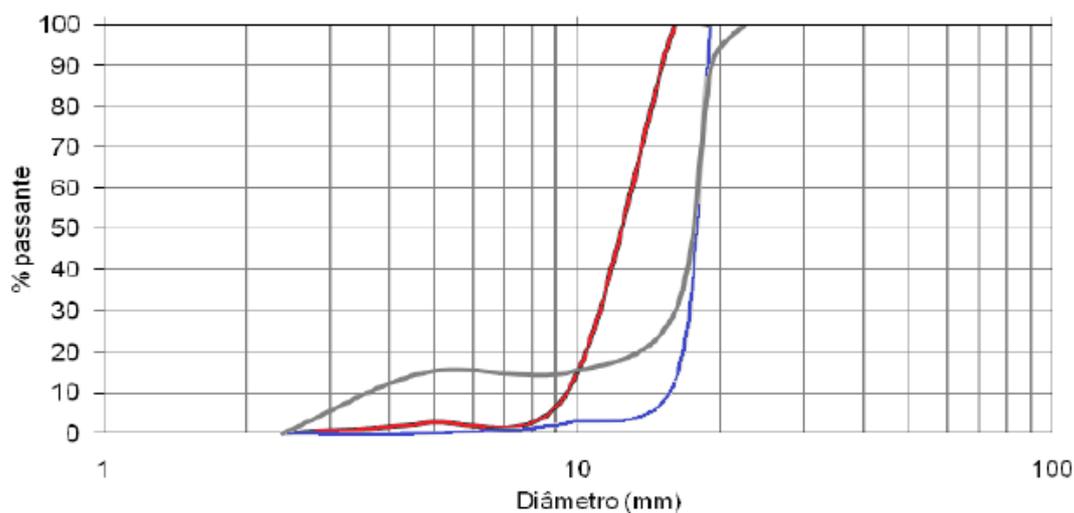
2.4.1.3. Agregado graúdo

Com uma graduação uniforme para o concreto drenante o agregado graúdo não deve ultrapassar o diâmetro de 19 mm. Verificou-se, na literatura,

que existe uma relação direta entre o tamanho do diâmetro do agregado e a rugosidade do concreto. (MARIANO, 2014)

A relação típica da relação de agregados é definida no gráfico 4.

Gráfico 3- Curvas granulométricas típicas de mistura para concreto permeável



Fonte BATEZINI, 2013

Podem ser utilizados agregados de formas redondas ou angulares, contudo, agregados redondos ocasionam em concretos com maiores resistências (TENNIS et al., 2004).

2.4.1.4. Água

No concreto permeável, a relação água cimento é um fator fundamental para garantir a qualidade e a trabalhabilidade do mesmo. O erro dessa relação, como a super dosagem onde há uma queda considerável de resistência mecânica e uma dosagem mínima pode ocasionar em uma mistura seca, onde não há trabalhabilidade.

Em virtude da dificuldade de trabalhabilidade pela mistura ser mais heterogênea, a relação água/cimento pode ser fixada entre 0,27 e 0,40 nas misturas. (TENNIS et al., 2004)

2.4.1.5. Aditivos

Em virtude da baixa relação água/cimento o uso de aditivos e adições é comum na produção de concreto permeável, para garantir melhores características e propriedades do produto final.

2.4.2. Propriedades do concreto permeável

O concreto permeável possui características distintas em seu estado fresco e endurecidos. Seu controle tecnológico deve ser constantemente e arduamente controlado, em função de sua dificuldade de execução.

2.4.2.1. Propriedades do concreto permeável no estado fresco

As misturas de concreto permeável são caracterizadas no estado fresco por apresentarem alta consistência, com resultados de abatimento de tronco de cone (slump) variando de 0 a 20 mm podendo, em alguns casos, chegar até 50mm (TENNIS et al.,2004).

A experiência com misturas de concreto permeável torna-se um fator fundamental para o controle de produção, considerando que os critérios utilizados para a avaliação são basicamente tátil-visuais (NETO, 2015).

Outro critério que pode ser utilizado, também, é a avaliação da massa unitária, representada por 70% da massa unitária de concretos convencionais (BATEZINI, 2013).

2.4.2.2. Propriedades do concreto permeável no estado endurecido

No estado endurecido, serão avaliados aspectos dos concretos permeáveis quanto ao coeficiente de permeabilidade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, conforme a norma de Pavimentos Permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, NBR 16.416 (ABNT, 2015). Os valores de referência estão apresentados nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de avaliação		
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	$> 10^{-3}$
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte NBR 16416 (ABNT, 2015).

Tabela 10 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.
^b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.
^c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte NBR 16416 (ABNT, 2015)

Serão analisados também aspectos referentes à massa específica e índices de vazios, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2015).

I. Massa específica

Apesar de uma grande divergência entres os autores, a NBR 16416 (ABNT,2015) estabelece que o valor mínimo especificado em projeto deve ser de 1600kg/m³.

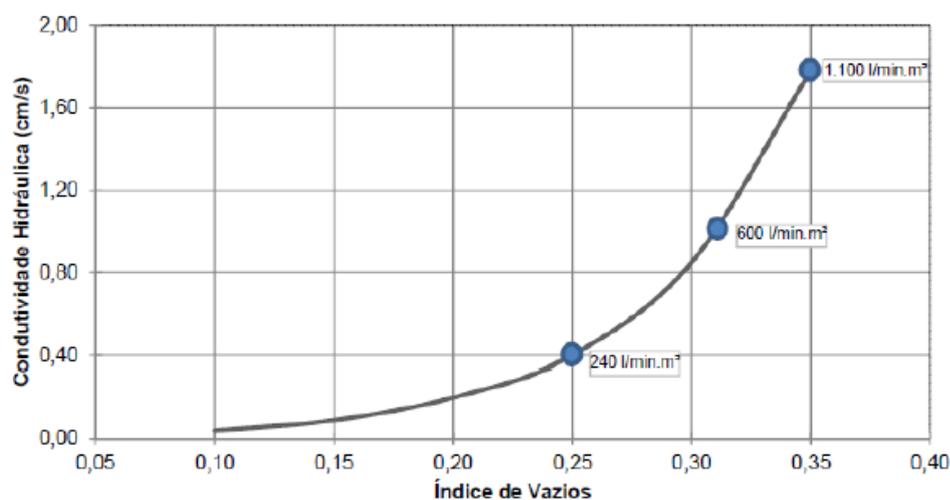
II. Índice de vazios

Calcula-se o índice de vazios de acordo com o concreto convencional, utilizando a mesma equação.

Mariano (2014) descreve que existem dois tipos de caracterização a partir do índice de vazios. As peças produzidas com índice de vazios inferiores a 15% são determinadas como materiais de baixa porosidade, entretanto quando se tem valores superiores de 30% são definidos como matérias de alta porosidade.

O índice de vazios é diretamente proporcional à condutividade hidráulica. Essa relação é observada no gráfico 4.

Gráfico 4- Relação entre o índice de vazios e a condutividade hidráulica do concreto permeável



Fonte BATEZINI, 2013

III. Condutividade hidráulica

Segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015) o coeficiente de permeabilidade (K) institui a velocidade que a água é capaz de infiltrar no solo, por meio dos poros de concreto permeável. Esse deve ser maior que 10^{-3} m/s e pode ser apontado em m/s, cm/s ou mm/h.

A NBR 16416 (ABNT, 2015) define requisitos mínimos para ensaios realizados nas peças de concreto permeável, e também o coeficiente de permeabilidade (K). Esses requisitos podem ser observados na tabela 11.

Tabela 11 - Requisitos mínimos para concretos permeáveis

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de avaliação		
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	> 10 ⁻³
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte NBR 16416 (ABNT, 2015)

De acordo com a tabela acima, a determinação do coeficiente de permeabilidade K, para concretos moldados no local, pode ser realizado a partir da NBR 13292 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.

Esse ensaio foi adaptado para o uso de corpos de prova ao invés de solos granulares. Para a realização, as faces laterais do corpo de prova foram vedadas com bentonita para garantir o curso da água ao longo do comprimento do corpo de prova.

Em consequência da adaptação, alguns equipamentos, materiais e etapas de execução não foram realizados, contudo manteve-se a integridade do ensaio.

De acordo com a NBR 13292:1995 para a execução do ensaio de permeabilidade é imprescindível os seguintes equipamentos:

- Permeâmetro
- Reservatório com filtro
- Funil
- Bomba de vácuo
- Tubos manométricos
- Balanças
- Barra de calibração
- Reservatório de água
- Termômetro
- Cronômetro
- Proveta de vidro

Para a realização deste ensaio, a NBR 13292 recomenda que o equipamento seja calibrado anteriormente a realização do ensaio.

- I. Com as válvulas abertas aguardar a estabilização de cargas. Medir e registrar a carga H (diferenças nos níveis dos tubos manométricos) a temperatura T o tempo t e o volume percolado neste tempo Q (exatidões 0,1cm, 0,1°C, 1s e 2cm³, respectivamente);
- II. Deve-se aumentar a carga de 0,5cm em 0,5 cm e repetir o processo descrito anteriormente, a fim de estabelecer adequadamente a região do fluxo laminar, na qual a velocidade ($v=Q/St$) é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico ($i = H/L$). Quando o regime deixa de ser laminar, ou seja, a relação entre a velocidade e o gradiente deixou de ser linear, os incrementos de carga podem ser realizados de 1 cm em 1 cm;
- III. Finalizando o ensaio, deve-se drenar o corpo de prova e verificar, visualmente se ele apresenta-se homogêneo e isotrópico em suas características;

Utiliza-se a equação abaixo, para fins de cálculo.

$$k = \left(\frac{V \cdot L}{c \cdot A \cdot t} \right)$$

Equação 2- Coeficiente de permeabilidade a partir da NBR 16416

Onde,

k é a condutividade hidráulica (cm/s)

V é o volume de água coletado (cm³)

L é o comprimento do corpo de prova (cm)

c corresponde a carga hidráulica (cm)

A é a área da seção transversal da amostra (cm²)

t é o tempo decorrido para a coleta da água (s)

Entretanto, esse mesmo coeficiente pode ser determinado a partir do Anexo A da NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos.

De acordo com o Anexo A da NBR 16416, 2015 para a execução do ensaio é imprescindível o uso dos seguintes equipamentos:

- Anel de infiltração: cilíndrico com diâmetro de (300 ± 10) mm e altura de 50 mm. Internamente o cilindro deve ter duas linhas de referência com distâncias de 10 mm e 15 mm em relação à face inferior do anel. O material deve ser resistente à água, com rigidez suficiente para não deformar quando cheio;
- Balança com resolução de 0,1 g;
- Recipiente com volume mínimo de 20L, que permita o derramamento controlado do volume de água;
- Cronômetro com resolução de 0,1 s;
- Massa de calafetar;
- Água limpa.

Para a execução do ensaio deve-se ser feita uma limpeza do pavimento varrendo o lixo, sedimentos e outros materiais que não estejam aderidos ao pavimento. A NBR 16416:2015 orienta que o anel de infiltração deve ser posicionado no local do ensaio e vedado na parte em contato com o pavimento com massa de calafetar, para evitar vazamentos. Devem-se seguir os seguintes procedimentos para execução do ensaio:

- I. Iniciar o ensaio em até 2 min depois da execução da pré-molhagem;
- II. Despejar a água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações do anel (10 mm a 15 mm);
- III. Marcar o intervalo de tempo acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento permeável e parar o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do mesmo. Registrar o tempo com exatidão de 0,1 s.

- IV. O volume de água do ensaio é determinado em função do tempo de pré-molhagem, conforme tabela 12.

Tabela 12- Relação tempo e massa de água

Tempo de pré-molhagem s	Massa de água para o ensaio kg
≤ 30	18 ± 0,05
> 30	3,60 ± 0,05

Fonte ABNT, 2015

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, utiliza-se a seguinte equação:

$$k = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)}$$

Equação 3- Coeficiente de permeabilidade a partir da NBR 16416

Onde,

k é o coeficiente de permeabilidade (mm/h)

m é a massa de água infiltrada (kg)

d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm)

t é o tempo necessário para toda a água percolar (s)

C é o fator de conversão de unidades do sistema SI, corresponde a 4 583 666 000

IV. Resistência à tração na flexão

A resistência à tração é um fator primordial na produção de concreto permeável a ser moldado no local. Os requisitos necessários podem ser observados na tabela 13.

Tabela 13 - Requisitos mínimos para resistência mecânica e espessura do concreto permeável.

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

Fonte NBR 16416 (ABNT,2015)

2.4.3. Propriedades do concreto endurecido

No estado endurecido, devem-se analisar parâmetros referentes à resistência à compressão, tração e massa específica. Contudo, deve-se considerar o índice de vazios, módulo de elasticidade, absorção de água, etc.

I. Resistência à compressão axial (f_{cj})

A resistência à compressão axial define a capacidade de suporte de concreto por unidade de área. A NBR 5739 (ABNT, 2007) determina a metodologia do ensaio, a partir dos corpos de prova, moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015).

II. Resistência à tração

A tração na flexão é calculada a partir na NBR 12142, a partir da ruptura do corpo de prova moldado de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para linha de ruptura dentro do terço médio, utiliza-se a seguinte equação:

$$f_{ct,f} = \frac{F \times l}{b \times d^2}$$

Equação 4 - Cálculo da resistência à tração dentro do terço médio

Onde,

$F_{ct,f}$ = resistência à tração na flexão (MPa)

F = força de ruptura na prensa (N)

l = distância entre apoios (mm)

b = largura do corpo de prova (mm)

d = altura do corpo de prova (mm)

Já quando a linha de ruptura ocorre fora do terço médio, tem-se:

$$f_{ct,f} = \frac{3 \times F \times a}{b \times d^2}$$

Equação 5- Cálculo da resistência à tração fora do terço médio

$F_{ct,f}$ = resistência à tração na flexão (MPa)

F = força de ruptura na prensa (N)

a = distância da linha de ruptura na face tracionada até o extremo mais próximo (mm)

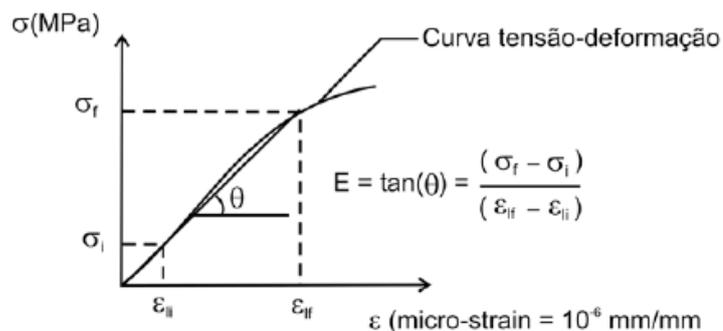
b = largura do corpo de prova (mm)

d = altura do corpo de prova (mm)

III. Modulo de elasticidade

O parâmetro é oriundo a partir do gráfico 5 provindo do ensaio descrito na NBR 8522 (ABNT, 2008).

Gráfico 5- Cálculo do Módulo de Elasticidade



Fonte PIKANÇO e GHAVAMI, 2006.

IV. Massa específica

A massa específica de um determinado material é a relação entre sua massa (kg) e seu volume (m³). De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015) o concreto é subdividido em três categorias, quando utilizado massa específica como referência, as quais são:

- Leve – menor do que 2000kg/m³
- Normal – entre 2000 e 2800 kg/m³
- Pesado – maior do que 2800 kg/m³

V. Índice de vazios

A NBR 9778 (ABNT, 2009) define o índice de vazios como a reação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100$$

Equação 6- Índice de vazios

Onde:

I_v :Índice de vazios (%)

M_{sat} :Massa do corpo de prova saturado (g)

M_s :Massa do corpo de prova seco em estufa (g)

M_i :Massa do corpo de prova saturado imerso em água (g)

2.4.4. Mistura e moldagem dos corpos de prova

Em virtude da análise tátil-visual ser um fator preponderante na produção de concreto permeável, o processo de mistura e moldagem de corpos de prova torna-se complexo. Assim todo o procedimento deve ser feito de forma rigorosa e respeitando as normas e a literatura de forma a se atentar para o cobrimento, com a argamassa, dos agregados graúdos, para então os resultados a serem obtidos serão mais satisfatórios. É importante salientar que o processo de adensamento é fundamental para uma boa produção de corpos de prova (BARRETO, 2018).

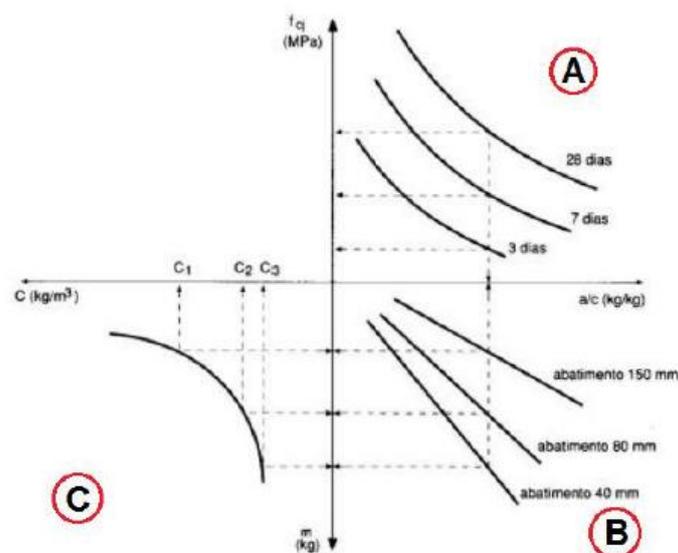
2.4.5. Método de dosagem

O método de dosagem mais comum no Brasil é do IPT/EPUSP, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, em virtude de sua eficácia e clareza de execução (HELENE; TERZIAN, 1993). Esse método foi utilizado para a realização das dosagens feitas no estudo de Mariano (2014) para concretos permeáveis.

O método tem como objetivo determinar a dosagem dos materiais constituintes do traço, para dada consistência requerida e resistência à compressão (f_{ck}) do concreto aos 28 dias (NETO, 2015).

As “leis de comportamento” para definição da dosagem são representadas no gráfico 6 e exemplificadas nas equações

Gráfico 6- Exemplo de diagrama de dosagem



Fonte Adaptado de HELENE; TERZIAN (1993).

- Leis de comportamento

- Lei de Abrams (A)

$$f_{c_j} = \frac{k_1}{k_2 \frac{a}{c}}$$

Equação 7 - Lei de Abrams

- Lei de Lyse (B)

$$m = k_1 + k_2 \times \frac{a}{c}$$

→ Lei de Molinari (C)

$$C = \frac{1.000}{k_3 + k_4 \times m}$$

Equação 9 - Lei de Molinari

- Leis complementares

→ Consumo de cimento

$$C = \frac{\gamma}{1 + a + p + a/c}$$

Equação 10 - Consumo de cimento I

ou

$$C = \frac{(1.000 - ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c}$$

Equação 11 - Consumo de cimento II

→ Consumo de água

$$Ca = C \times a/c$$

Equação 12 - Consumo de água

Onde,

f_{cj} é a resistência à compressão axial com "j" dias

a/c é a relação água/cimento em massa

k_1, k_2, k_3 e k_4 são as constantes que dependem dos materiais

a é a proporção do agregado miúdo

p é a proporção do agregado graúdo

$m = a + p$

ar é o ar incorporado por m^3 [dm^3/m^3]

γ é a massa específica do concreto

γ_c é a massa específica do cimento

γ_a é a massa específica do agregado miúdo

γ_p é a massa específica do agregado graúdo

Ca é o consumo de água

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para essa pesquisa consiste em ensaios de caracterização de materiais componentes e ensaios das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido buscando atingir o objetivo do trabalho que é a obtenção de um concreto permeável trabalhável para produção em caminhão betoneira.

Os ensaios das propriedades do concreto serão realizados partir de um traço piloto, obtido por outros estudos já realizados sobre o assunto. . A partir do traço padrão, serão acrescidos três aditivos polifuncionais (P1, P2 e P3), com funções de reduzir a água de amassamento, aumentar tempo de trabalhabilidade, controlar o tempo de pega, aumentar a plastificação, aumentar as resistências inicial e final e controlar a incorporação do ar no concreto, a combinação dos polifuncionais com o estabilizador (P1C, P2C e P3C) e um aditivo estabilizador (E).

O traço piloto será de 1:0,64:3,36, em massa relação água cimento fixada em 0,35.

A tabela 14 apresenta uma legenda com a nomenclatura adotada para a identificação de cada traço.

Tabela 14 - Nomenclatura utilizada em cada traço

Nomenclatura dos traços		
<i>Composição do traço</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Sigla</i>
Traço piloto	Padrão	P
Polifuncional 1	Poli 1	P1
Polifuncional 2	Poli 2	P2
Polifuncional 3	Poli 3	P3
Polifuncional 1 + estabilizador	Poli 1 completo	P1C
Polifuncional 2 + estabilizador	Poli 2 completo	P2C
Polifuncional 3 + estabilizador	Poli 3 completo	P3C
Estabilizador	Estabilizador	E

Fonte Adaptado de BARRETO, 2018

Os procedimentos de mistura, moldagem e ensaios em laboratório para este estudo foram realizados de acordo com as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Procedimentos especiais adotados,

tendo em vista a ausência de parâmetros normativos inclusivos, foram devidamente estudados e estão amparados pela literatura.

3.1. Materiais utilizados

Serão detalhados nos itens a seguir os materiais utilizados para este estudo assim como a justificativa de escolha de cada um deles.

3.1.1. Cimento Portland

Para a realização deste trabalho, o cimento adotado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI). A escolha deste foi dada a partir de sua alta resistência inicial e final, quando utilizado a compressão como parâmetro, assim é possível reduzir a quantidade de aglomerante no traço objetivando a menor quantidade de finos. Como consequência da redução de cimento, evita o preenchimento dos vazios e ainda tende a aumentar a possibilidade de unir as duas características necessárias ao concreto drenante, sendo elas, a resistência à compressão e a permeabilidade.

3.1.2. Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0 e brita 1, doadas pelo Grupotecno Sistemas Construtivos localizada no SDMC Lotes 38 a 52, Q 1 - Ceilândia Norte, Brasília – DF. As faixas granulométricas das Britas 0 e 1 são compatíveis com as granulometrias utilizadas em experimentos anteriores.

3.1.3. Agregado Miúdo

Para os agregados miúdos foi utilizada areia artificial doada pelo Grupotecno Sistemas Construtivos localizada em SDMC Lotes 38 a 52, Q 1 - Ceilândia Norte, Brasília – DF. Foi verificada a umidade do material e, quando necessário, o traço inicial foi corrigido, em função desse fator.

3.1.4. Água

Foi utilizada água de poço do Grupotecn Sistemas Construtivos localizada em SDMC Lotes 38 a 52, Q 1 - Ceilândia Norte, Brasília – DF.

3.1.5. Aditivos e Adições

Foram utilizados os seguintes aditivos:

- Polifuncional 1

O aditivo polifuncional 1, é utilizado em casos onde há a necessidade de uma redução de água de amassamento, ou quando um maior tempo de trabalhabilidade seja necessário (BARRETO, 2018)..

- Polifuncional 2

O aditivo polifuncional 2 ocasiona alta plastificação com manutenção prolongada, controle sobre o tempo de pega e maior redução do ar incorporado. Apresenta aumento nas resistências inicial e final (versão com menor incorporador de ar) (BARRETO, 2018).

- Polifuncional 3

O aditivo polifuncional 3 é indicado para concretos com cimentos de tempo de pega rápido, e quando se deseja maior plasticidade da mistura com manutenção por período prolongado mesmo sob elevadas temperaturas. Controla o ar incorporado (versão com menor quantidade de incorporador de ar) (BARRETO, 2018).

- Estabilizador

O aditivo estabilizador é um aditivo controlador de hidratação produzido para permitir maior controle sob o início de pega do concreto (BARRETO, 2018).

Todos os aditivos utilizados nesse estudo foram doados pelas empresas. Todos os materiais utilizados estão na figura 3.

Figura 3- Composição do traço



Fonte BARRETO, 2018.

3.2. Caracterização dos materiais utilizados

Os ensaios de caracterização dos materiais foram todos realizados no laboratório de pesquisa do Grupotecnó Sistemas Construtivos e no laboratório de materiais, solos e topografia do UniCEUB, em Brasília-DF.

3.2.1. Cimento

Para o cimento foram determinados os parâmetros a seguir, cujos resultados são apresentados no capítulo seguinte.

3.2.1.1. Resistência à compressão

Foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura para ruptura com 7, 14 e 28 dias com argamassa composta de uma parte de cimento, quatro de areia normalizada e com relação a/c de 0,27 conforme a NBR 7215 (ABNT, 1997).

3.2.1.2. Pasta de consistência normal

Foi determinada a quantidade de água necessária para obtenção da pasta de consistência normal pela NBR NM 43 (ABNT, 2003) através do aparelho de Vicat.

3.2.1.3. Tempos de início e fim de pega

Os tempos de início e fim de pega foram determinados de acordo com a NBR NM 16607 (ABNT, 2017). Onde o tempo de início de pega é analisado como o tempo ocorrido, desde a adição de água ao cimento, até o instante em que a agulha de Vicat penetra na pasta uma distância de (4 ± 1) mm da placa base. (ABNT, 2017)

Já o tempo de fim de pega, é o intervalo entre a mistura de água e cimento até o instante onde a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta.

3.2.1.4. Índice de finura

O índice de finura foi determinado a partir dos preceitos da NBR 11579 (ABNT, 2012). Depois de realizados os procedimentos descritos na norma e obtida a massa de material retido na peneira número 200, o cálculo foi feito pela seguinte equação:

$$F = \frac{R}{M} \times 100$$

Equação 13- índice de finura

Onde,

F é o índice de finura do cimento em porcentagem

R é a massa do material retido na peneira (g)

M é a massa inicial do material ($50 \pm 0,05$ g)

3.2.2. Brita 0

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo serão apresentados no capítulo seguinte.

3.2.2.1. Composição granulométrica

A composição granulométrica da brita foi determinada a partir das instruções da NBR NM 48 (ABNT, 2003) e obtida a granulometria, apresentada nos resultados. Foram realizadas duas determinações.

3.2.2.2. Massa específica

A massa específica da brita foi determinada através de ensaios realizados na concreteira.

3.2.3. Brita 1

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo serão apresentados no capítulo seguinte

3.2.3.1. Composição granulométrica

A composição granulométrica da brita foi determinada a partir das instruções da NBR NM 48 (ABNT, 2003) e obtida a granulometria, apresentada nos resultados. Foram realizadas duas determinações.

3.2.3.2. Massa específica

A massa específica da brita foi determinada através de ensaios realizados na concreteira.

3.2.4. Areia

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo serão apresentados no capítulo seguinte.

3.2.4.1. Composição granulométrica

Obtida da mesma forma que para os agregados graúdos pela NBR NM 48 (ABNT, 2003).

3.2.4.2. Massa específica

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo serão apresentados no capítulo seguinte.

3.3. Caracterização dos materiais utilizados

Para a determinação das proporções dos materiais utilizados nas misturas de concreto permeável foram levados em consideração os traços utilizados por Mariano (2014), Neto (2015), Teixeira (2017), Barreto (2018) e as recomendações da literatura para a produção de concretos permeáveis. Foi fixado o traço de 1:0,64:3,36 (proporção, em massa, de cimento para areia e brita, respectivamente) e foi feito experimentos com a relação a/c a partir de critérios tátil-visuais para definir qual seria a melhor relação em cada traço. Essa relação começou com 0,27 e teve seu pico em 0,35.

Uma quantidade maior de água de água, origina a formação de pasta ocasionando a colmatação dos vazios, A tabela 15 informa a relação água cimento utilizada em cada traço.

Tabela 15 - Relação água cimento utilizada

Relação água cimento (a/c)	
Traço	a/c utilizada
P1	0,35
P2	0,28
P3	0,29
P1C	0,35
P2C	0,27
P3C	0,28
E	0,28
P	0,35

Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Ainda de acordo com Barreto (2018), foi fixado o consumo de 0,8% de aditivo sobre a massa de cimento utilizada.

3.4. Mistura e moldagem dos corpos de prova

O procedimento de mistura foi realizado em uma betoneira de 120 litros, e a ordem de mistura e adição dos materiais foi seguida conforme método descrito por Teixeira (2017) para concretos permeáveis, a qual constatou que tal forma de mistura é bem condizente com a realidade nas concreteiras e usinas de dosagem. Para a realização dos corpos de prova, foram seguidos os passos a seguir.

- 1) Adicionar o agregado graúdo/miúdo com o cimento;
- 2) Misturar por cerca de 1 a 2 min;
- 3) Adicionar uma 1/3 de água;
- 4) Misturar por 2 min e adicionar o aditivo multifuncional e/ou o aditivo estabilizador;
- 5) Adicionar o resto da água em conjunto com o aditivo;
- 6) Misturar continuamente por cerca de 5 a 10 min;

Para a realização dos ensaios foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm diâmetro e altura respectivamente, para resistência à compressão, determinação do coeficiente de permeabilidade e avaliação de temperatura a partir do uso de termopares. Também foram moldados corpos de prova prismáticos de 15x15x50 cm para a determinação de resistência à tração na flexão e placas de 71x71x10 cm para a determinação do coeficiente de permeabilidade.

Os procedimentos descritos na NBR 5738 (ABNT, 2015) não são aplicados nesse caso, em função de ser um tipo de concreto especial. Portanto o número de camadas e golpes de haste metálica foi adaptado, a partir de estudos previamente realizados. Em resumo, a forma e quantidade de golpes necessários para adensar a peça estão descritos na tabela 16.

Tabela 16- Adensamento nos corpos de prova

Adensamento de corpo de prova			
Corpo de prova	Dimensão (cm)	Camadas	Golpes por camadas
Cilíndrico	10 x 20	2	12
Prismático	15 x 15 x 50	3	25
		última	10
Placa	71 x 71 x 10	1	32

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Após a moldagem, os corpos de prova foram umedecidos para garantir o processo de cura das peças. Entretanto, o corpo de prova utilizado para fazer a análise de temperatura, foi inserido o cabo termopar para a aferição da temperatura e logo após foi coberto com plástico filme, para evitar a perda de água, e foi mantido fora para facilitar o processo de medição desse fator. As figuras 4 e 5 representam as peças moldadas, aguardando o procedimento de cura.

Figura 4 - Corpos de prova prismáticos



Fonte Arquivo, 2018

Figura 5- Corpo de prova cilíndrico



Fonte Arquivo, 2018

A literatura cita que os corpos de prova só atingem consistência para desforma após 7 dias (NETO,2015). No entanto, foi observado nesta pesquisa que há vários fatores que irão interferir nessa desforma dos corpos de prova, como por exemplo, fatores climáticos, ambientais, aditivos utilizados e o tipo de cimento. Neste estudo, os corpos de prova cilíndricos foram desenformados com dois dias de idade.

Os corpos de prova foram capeados com argamassa de cimento e areia para uniformizar a superfície da peça e validar os ensaios realizados. Os corpos de prova utilizados para os ensaios de permeabilidade foram os únicos a não serem capeados.

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade, a partir da NBR 13292 o corpo de prova foi moldado com uma altura inferior a 15 cm para a adequação no equipamento. A figura 6 reproduz a placa de 0,5m² produzida para a realização do ensaio descrito no Anexo A da norma NBR 16416.

Figura 6- Moldagem da placa para determinação do coeficiente de permeabilidade



Fonte BARRETO, 2018

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Cimento

I. Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão do cimento estão apresentados na tabela 17.

A figura 7 mostra os corpos de prova moldados para o ensaio de resistência à compressão.

Figura 7- Corpos de prova para resistência à compressão



Fonte BARRETO, 2018

Tabela 17- Resistência à compressão do cimento

Resistência à compressão		
<i>Idade</i>		
<i>7 dias</i>	<i>14 dias</i>	<i>28 dias</i>
26,4 MPa	42,1 MPa	46,8 MPa
37,9 MPa	39,0 MPa	47,0 MPa
32,2 MPa	40,5 MPa	46,9 MPa
<i>Média</i>		
32,2 MPa	40,5 MPa	46,9 MPa

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Os resultados obtidos a partir deste ensaio comprovam a definição de cimento de alta resistência, onde este obteve resultados acima da média de cimentos convencionais nas idades iniciais e esse incremento permaneceu ao longo do ensaio.

II. Pasta de consistência normal

Para a obtenção da pasta de consistência normal, foram necessários 155g de água.

III. Tempos de início e fim de pega

Os dados foram fornecidos pelo Grupoteco e nele foi constatado que o tempo de início de pega foi de 131 minutos e o tempo de fim de pega foi de 210 minutos. Totalizando seis horas e oito minutos de ensaio, aproximadamente.

IV. Índice de finura

O índice de finura do cimento foi de 0,2% na peneira nº 200.

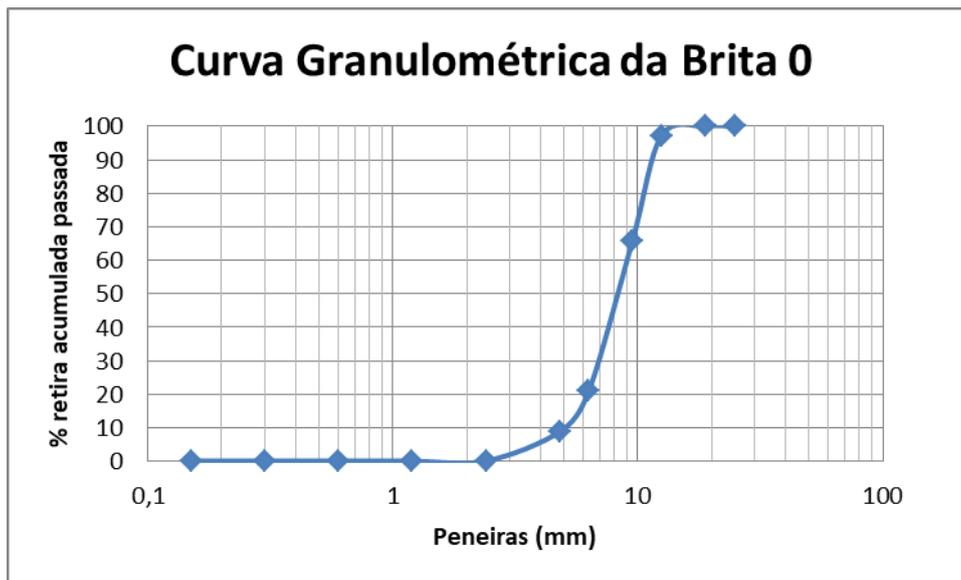
4.1.2. Brita 0

I. Composição granulométrica

Para concreto permeável, é importante gerar e manter os vazios entre os grãos dos agregados, sendo assim para esse fim é necessário uma granulometria uniforme.

O gráfico 7 demonstra a curva granulométrica da brita 0 e a tabela 18 descreve a quantidade de material retida em cada peneira, e a porcentagem de material retido e passante.

Gráfico 7- Análise granulométrica brita 0



Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Tabela 18- Análise granulométrica Brita 0

Data:20/04/2018		Local do ensaio: Laboratório de materiais e topografia UniCEUB					
Material		Brita 0					
Peso seco (g)		Amostra: 1000g					
Peneiras		Massa peneira (g)		Massa amostra (g)	Material retido simples (%)	Material retido acumulado (%)	Material passando acumulado (%)
Nº (ASTM)	MM (ABNT)	Vazia	Cheia				
1"	25	430,2	430,2	0	0	0	100
3/4"	19	425,6	425,6	0	0	0	100
1/2"	12,5	424,8	452,4	28	3	3	97
3/8"	9,5	421,5	735,3	314	31	34	66
1/4"	6,3	410,2	859,3	449	45	79	21
nº 4	4,8	468,6	598,3	130	13	92	9
nº8	2,4	382,7	462,3	80	8	100	0
nº16	1,2	363,6	364,2	0	0	100	0
nº30	0,6	328,7	328,9	0	0	100	0
nº50	0,3	322,7	322,7	0	0	100	0
nº100	0,15	302,4	302,4	0	0	100	0
fundo	-	363,3	363,8	0	0	100	0

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

É importante essa variação no tamanho do agregado, dado que as partículas com maiores dimensões criam os vazios necessários quando as partículas menores se aloca de forma a evitar o total preenchimento desse vazio. Ou seja, é possível manter a resistência do concreto com o elevado uso de agregado, contudo mantendo a integridade do objetivo inicial desse

material inicial, que é exatamente a criação de vazios para a drenagem em sua superfície.

II. Massa específica

De acordo com informações do Grupoteco a massa específica da brita 0 é de 2,70 g/cm³.

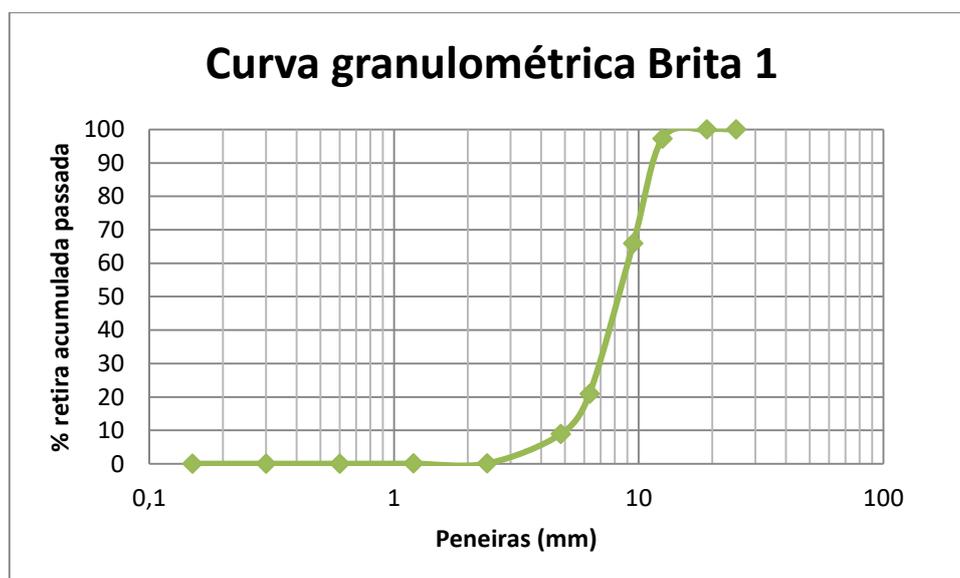
4.1.3. Brita 1

I. Composição granulométrica

A composição granulométrica da brita 1 tem a mesma finalidade da brita 0, permitindo a existência de vazios no concreto permeável.

O gráfico 8 demonstra a curva granulométrica da brita 1 e a tabela 19 descreve a quantidade de material retido em cada peneira, e a porcentagem de material retido e passante.

Gráfico 8 - Curva granulométrica brita 1



Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Tabela 19 - Análise granulométrica Brita 1

Data:20/04/2018		Local do ensaio: Laboratório de materiais e topografia UniCEUB					
Material		Brita 1					
Peso seco (g)		Amostra: 1000g					
Peneiras		Massa peneira (g)		Massa amostra (g)	Material retido simples (%)	Material retido acumulado (%)	Material passando acumulado (%)
Nº (ASTM)	MM (ABNT)	Vazia	Cheia				
1"	25	408,6	408,6	0,0	0	0	100
3/4"	19	437,6	580,1	142,5	14	14	100
1/2"	12,5	424,8	1209,1	784,3	78	93	97
3/8"	9,5	421,5	491,5	70,0	7	100	66
1/4"	6,3	410,2	412	1,8	0	100	21
nº 4	4,8	468,6	468,6	0,0	0	100	9
nº8	2,4	382,7	382,7	0,0	0	100	0
nº16	1,2	363,6	363,6	0,0	0	100	0
nº30	0,6	328,7	329	0,3	0	100	0
nº50	0,3	322,7	323	0,3	0	100	0
nº100	0,15	302,4	302,7	0,3	0	100	0
fundo	-	363,3	363,8	0,5	0	100	0

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

A justificativa do uso de diferentes tamanhos de grãos do agregado dá-se pelo mesmo fator explicado da brita 0.

II. Massa específica

De acordo com informações do Grupotecnó a massa específica da brita 1 é de 2,72 g/cm³.

4.1.4. Areia

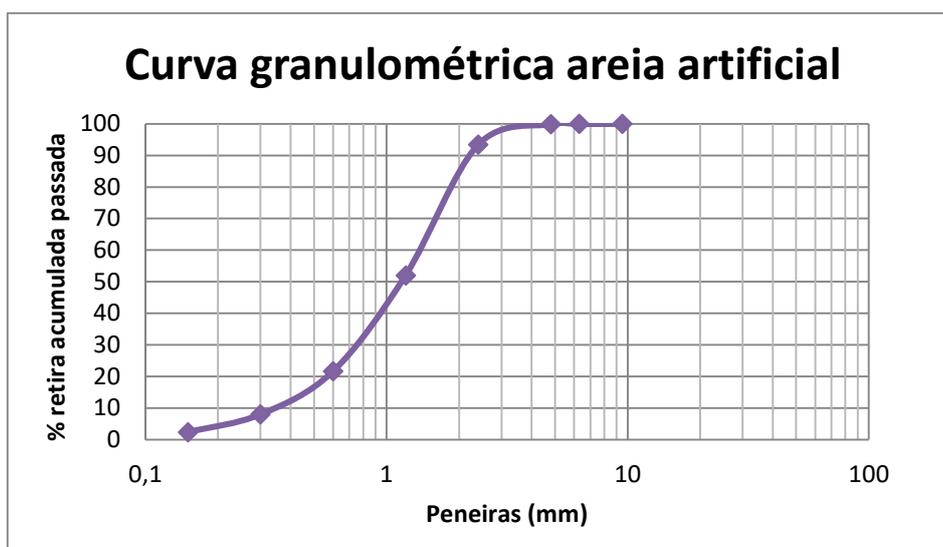
I. Composição granulométrica

Após análise em estudos anteriores, constatou-se que o uso de areia artificial juntamente com a variação granulométrica da brita, aumentaria a resistência mecânica do concreto drenante, contudo manteve-se a existência dos vazios.

Para a realização do ensaio de granulometria desse material, a areia foi seca em estufa por 24 horas.

O gráfico 9 demonstra a curva granulométrica da brita 0 e a tabela 20 descreve a quantidade de material retida em cada peneira, a porcentagem de material retido e passante.

Gráfico 9 -Curva granulométrica areia artificial



Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Tabela 20 - Análise granulométrica Areia artificial

Data:20/04/2018		Local do ensaio: Laboratório de materiais e topografia UniCEUB				
Material		Areia artificial				
Peso seco (g)		Amostra: 1000g				
Peneiras		Massa peneira (g)		Massa amostra (g)	Material retido simples (%)	Material passando acumulado (%)
Nº (ASTM)	MM (ABNT)	Vazia	Cheia			
3/8"	9,5	421,5	491,5	0,0	0	100
1/4"	6,3	410,5	410,7	0,2	0	100
nº 4	4,8	469	469,8	0,8	0	100
nº8	2,4	383	448,3	65,3	7	93
nº16	1,2	364	778,1	414,1	41	52
nº30	0,6	329,5	633,5	304,0	30	22
nº50	0,3	301,8	438,2	136,4	14	8
nº100	0,15	279	335,3	56,3	6	2
fundo	0	363,8	386,2	22,4	2	0

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

É notório que esse tipo de material possui grãos maiores, quando comparados com agregados miúdos convencionais. A escolha desse se deu justamente por esse fator, para evitar ao máximo a colmatação dos vazios ocasionados pelo excesso de finos.

II. Massa específica

De acordo com informações do Grupotecno a massa específica da areia artificial é de 2,72g/cm³.

4.2. Verificação no estado fresco

4.2.1. Abatimento de tronco de cone (slump)

Todos os traços realizados em laboratório apresentaram *slump* zero conforme a figura 8.

Figura 8- Slump test

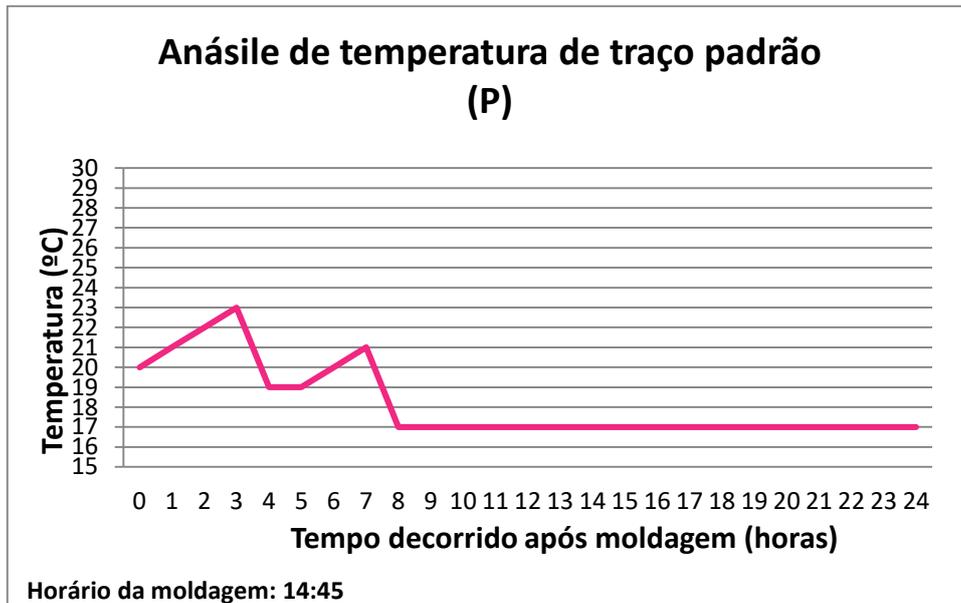


Fonte BARRETO, 2018.

4.2.2. Temperatura

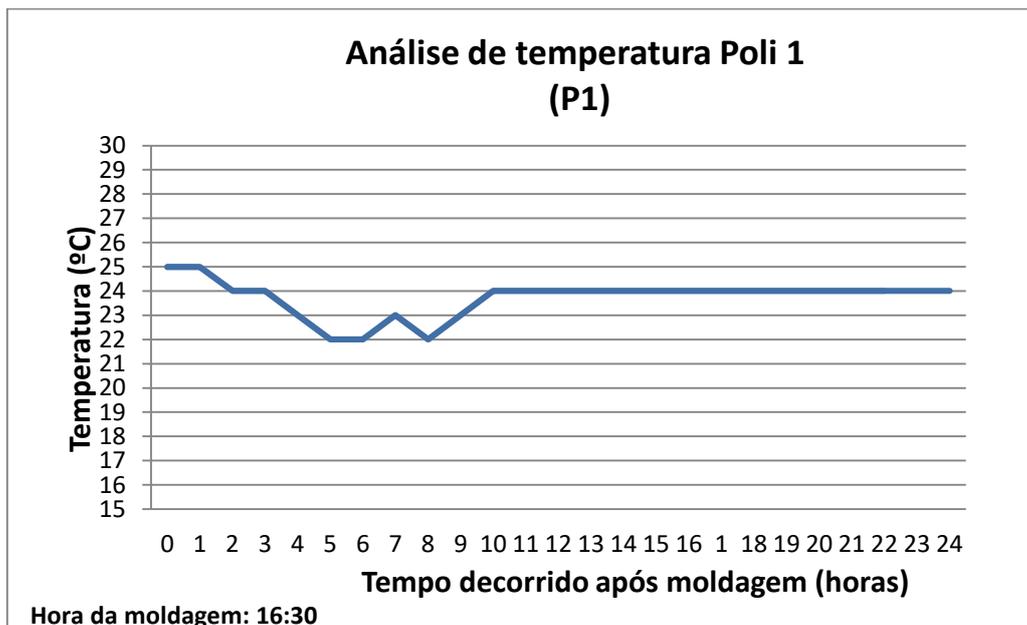
A análise da temperatura foi feita em todos os traços executados, essa se deu em um corpo de prova cilíndrico onde foi alocado um fio de termopar e a aferição foi feita de 30 em 30 minutos, através de um multímetro, até notar uma estabilização de temperatura. Após a estabilização, foram realizadas medições a cada hora em um período total de 24 horas. Os gráficos abaixo demonstram os resultados obtidos.

Gráfico 10- Análise de temperatura do traço P



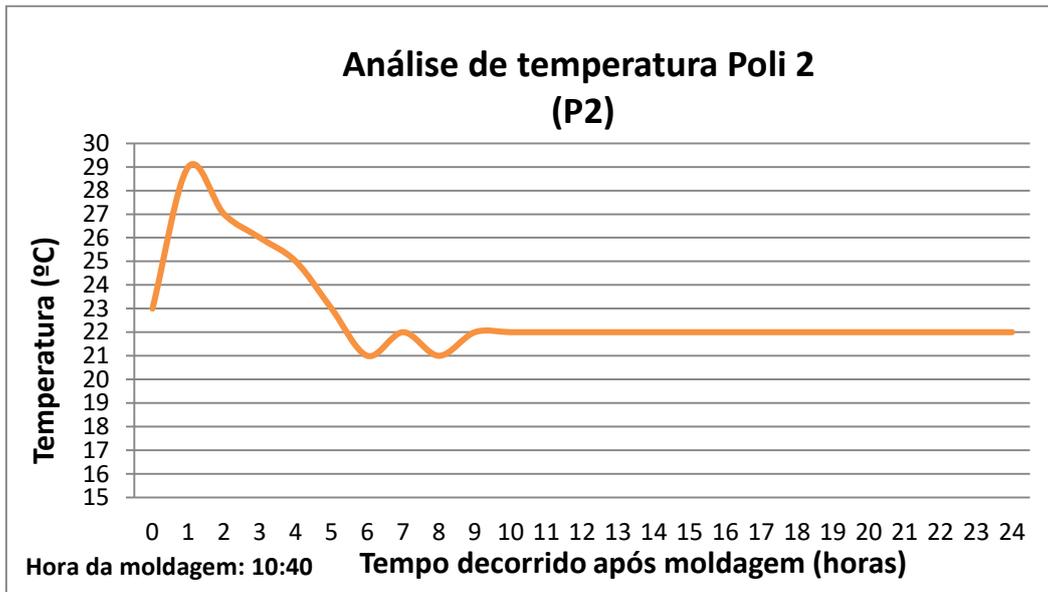
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 11 - Análise de temperatura do traço P1



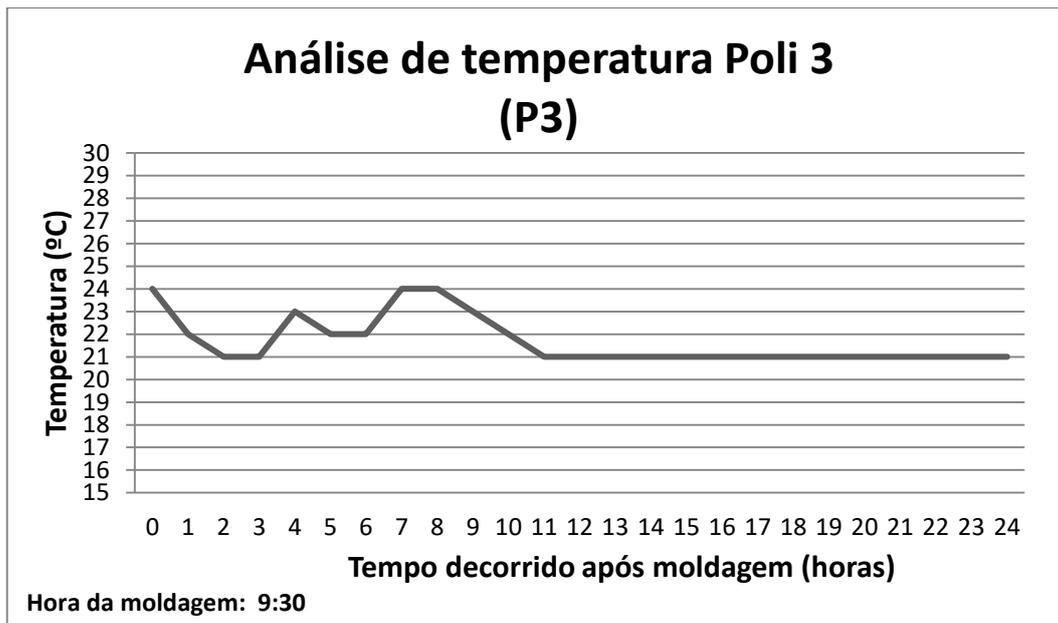
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 12 - Análise de temperatura do traço P2



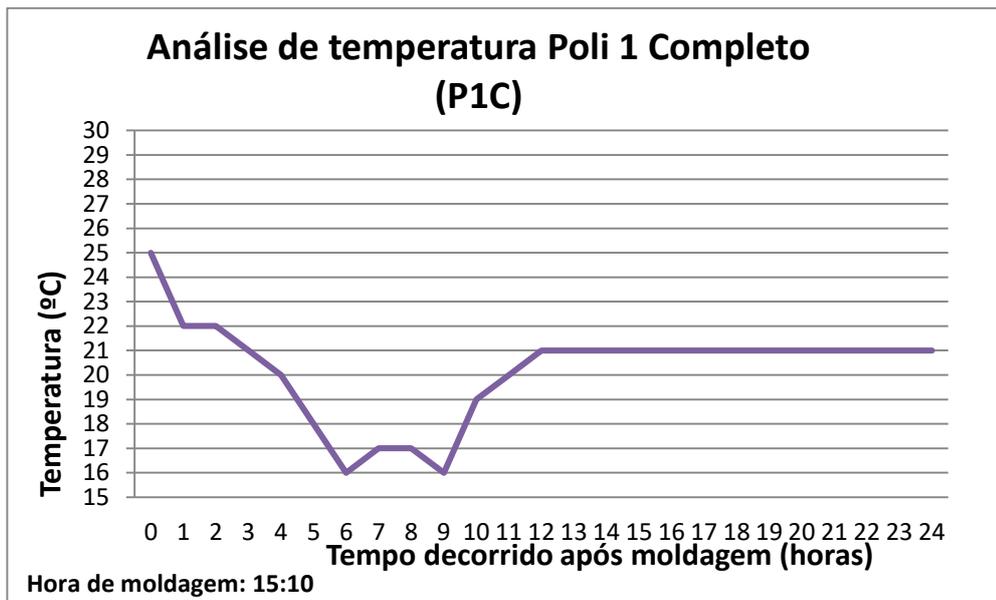
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 13 - Análise de temperatura do traço P3



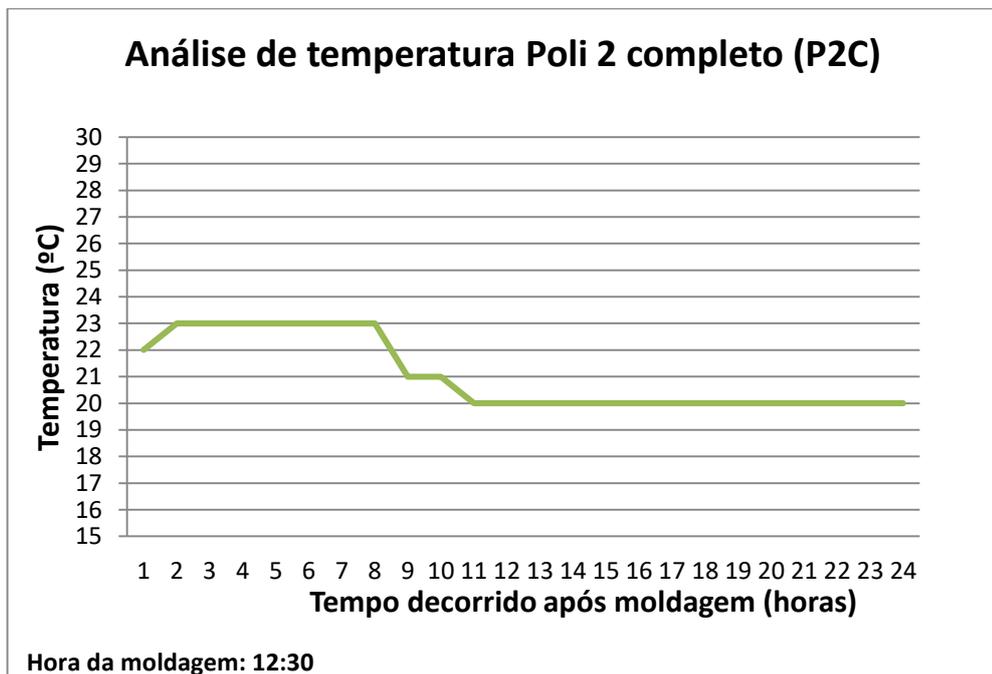
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 14 - Análise de temperatura do traço P1C



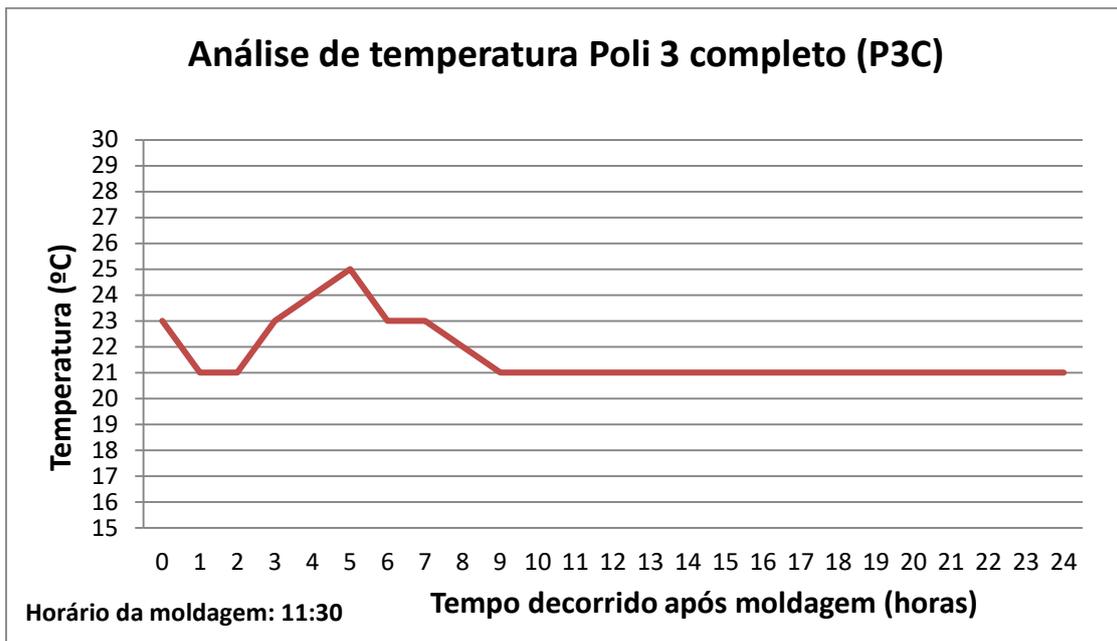
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 15 - Análise de temperatura do traço P2C



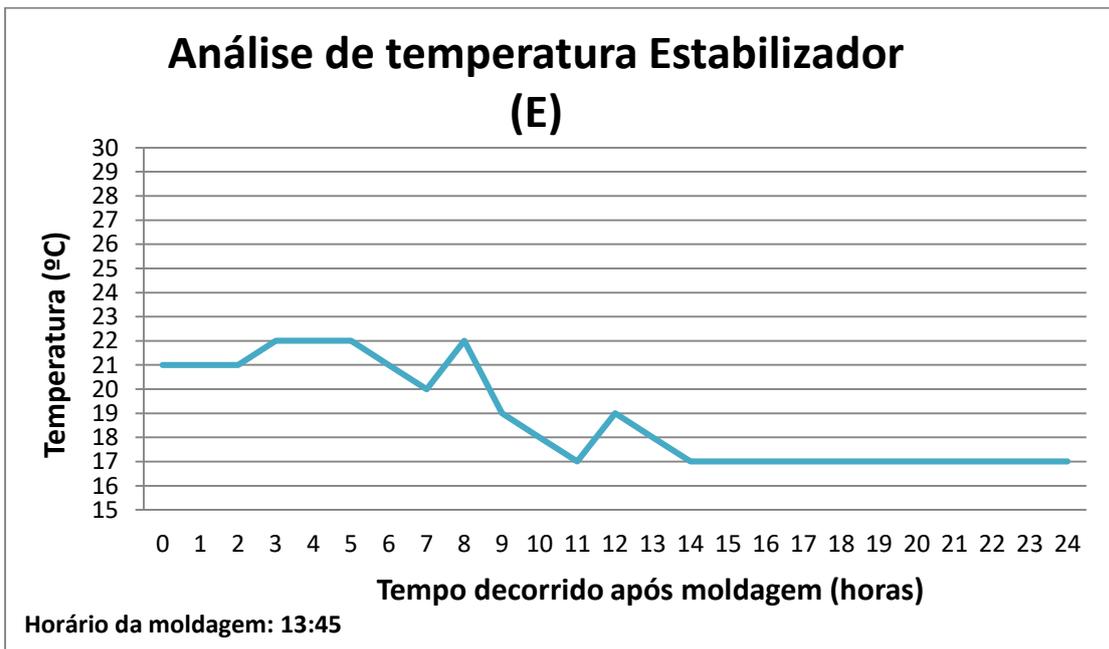
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 16 - Análise de temperatura do traço P3C



Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 17 - Análise de temperatura do traço E



Fonte Adaptado BARRETO, 2018

As tabelas 21 e 22 junto com o gráfico 18 são os resultados provenientes do ensaio.

Tabela 21 - Análise de temperatura

Análise de temperatura								
<i>Hora</i>	<i>P</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P1C</i>	<i>P2C</i>	<i>P3C</i>	<i>E</i>
0	20	25	23	24	25	22	23	21
1	21	25	29	22	22	23	21	21
2	22	24	27	21	22	23	21	21
3	23	24	26	21	21	23	23	22
4	19	23	25	23	20	23	24	22
5	19	22	23	22	18	23	25	22
6	20	22	21	22	16	23	23	21
7	21	23	22	24	17	23	23	20
8	17	22	21	24	17	21	22	22
9	17	23	22	23	16	21	21	19
10	17	24	22	22	19	20	21	18
11	17	24	22	21	20	20	21	17
12	17	24	22	21	21	20	21	19
13	17	24	22	21	21	20	21	18
14	17	24	22	21	21	20	21	17
15	17	24	22	21	21	20	21	17
16	17	24	22	21	21	20	21	17
17	17	24	22	21	21	20	21	17
18	17	24	22	21	21	20	21	17
19	17	24	22	21	21	20	21	17
20	17	24	22	21	21	20	21	17
21	17	24	22	21	21	20	21	17
22	17	24	22	21	21	20	21	17
23	17	24	22	21	21	20	21	17
24	17	24	22	21	21	20	21	17

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

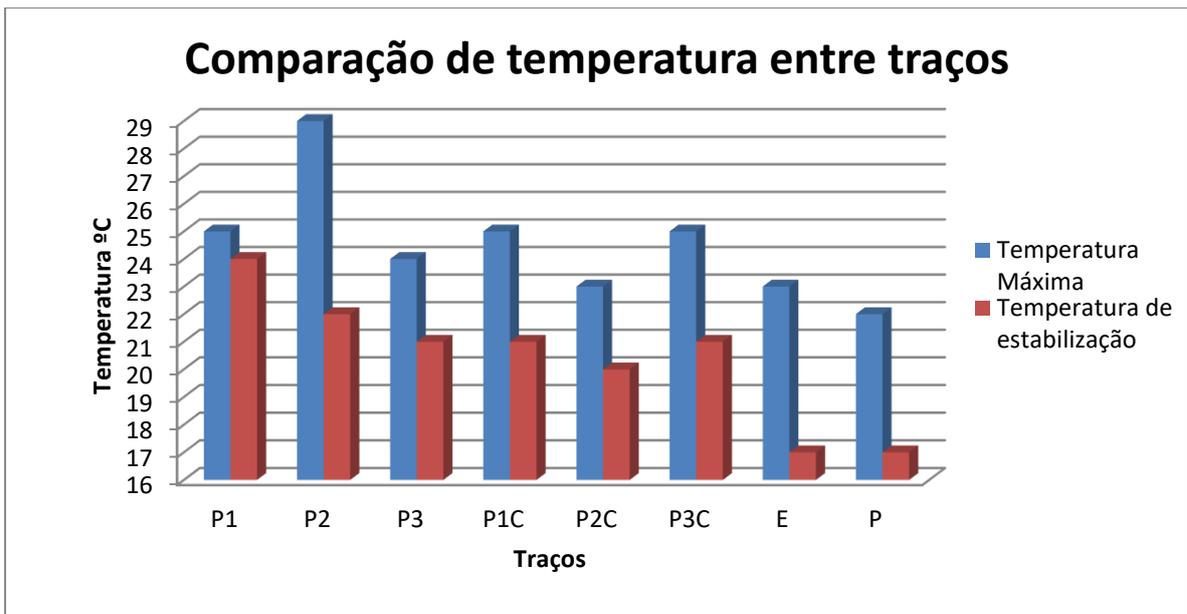
As células em vermelho significam as temperaturas máximas (ou de pico) e as células em azul significam a temperatura de estabilização.

Tabela 22 - Resumo de temperatura entre traços

Resumo temperatura		
Traço	Temperatura máxima (°C)	Temperatura de estabilização (°C)
P	23	17
P1	25	24
P2	29	22
P3	24	21
P1C	25	21
P2C	23	20
P3C	25	21
E	22	17

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 18- Comparação de temperatura entre traços



Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Acredita-se que a relação a/c tem relação diretamente proporcional com a redução de temperatura de pico no concreto em seu estado fresco. Um exemplo é o traço padrão, onde houve uma temperatura menor quando comparado aos traços com aditivos polifuncionais e suas combinações.

Analisando caso a caso, foram observados os seguintes comportamentos conforme a tabela 23.

Tabela 23- Análise de temperatura entre os traços

Análise de aditivos entre traços			
<i>Traço</i>	<i>Temperatura de pico</i>	<i>Tempo de atuação da temperatura máxima</i>	<i>Temperatura de estabilização</i>
P1/P1C	Não houve diferença com a adição do aditivo estabilizador	Houve redução do tempo de atuação a partir da inserção do aditivo estabilizador	Houve redução da temperatura de estabilização a partir da inserção do aditivo estabilizador
P2/P2C	Houve redução da temperatura de pico a partir da inserção do aditivo estabilizador	Não houve resultados significativos nesse aspecto	Houve redução da temperatura de estabilização a partir da inserção do aditivo estabilizador
P3/P3C	Houve aumento da temperatura de pico a partir da inserção do aditivo estabilizador	Não houve resultados significativos nesse aspecto	Não houve diferença com a adição do aditivo estabilizador
E	O aditivo estabilizador, como esperado, obteve as menores temperaturas de pico e de estabilização.		

Fonte Autor, 2018.

Os resultados com o sombreamento verde estão de acordo com o esperado, os em amarelo não contribuíram pois mantiveram-se iguais aos resultados dos traços sem adição de aditivo estabilizador e o resultado em vermelho fugiu do comportamento que era esperado.

O controle da temperatura no concreto drenante é importante para controlar e evitar a perda de água no estado fresco. A relação água/cimento é baixa e o aumento de temperatura pode ocasionar em evaporação de água o que prejudica a hidratação do aglomerante.

4.3. Verificação no estado endurecido

4.3.1. Resistência à tração na flexão

Foram moldados oito corpos de prova, em formatos prismáticos, com medidas de 15x15x50 cm, sendo um para cada traço, para a idade de 28 dias. Contudo, por questões técnicas, não foi realizado o ensaio no traço E. A figura 11 corresponde ao ensaio de determinação de resistência à tração na flexão em andamento.

Figura 9- Realização do ensaio de tração na flexão



Fonte BARRETO, 2018.

A tabela 24 mostra os resultados obtidos para os ensaios de tração na flexão do concreto permeável.

Tabela 24 - Resistência à tração na flexão

Resistência à tração na flexão (MPa)	
Traço	Resistência (MPa)
P	2,1
P1	1,8
P2	1,3
P3	1,3
P1C	1,7
P2C	1,3
P3C	1,7
E	-

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

A NBR 16416 – Pavimentos de concreto permeáveis – requisitos e procedimentos usa como diretriz a resistência de, no mínimo, 1MPa para tráfego de pedestres. Após observar a tabela acima, todos os traços executados estão acima do padrão exigido pela norma. Contudo o traço padrão obteve resultados satisfatórios para receber tráfego leve, respeitando o mínimo de 2 MPa exigido pela norma.

4.3.2. Resistência à compressão

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos (10x20 cm) para a realização do ensaio nas idades de 7, 14 e 28 dias. Contudo, durante o desmolde dos corpos de prova, os traços P2C e P1C ainda estavam úmidos (após quatro dias) conforme a figura 11. Acredita-se que a interação dos aditivos combinados, exige uma menor dosagem do estabilizador. Em virtude desse fato, esses traços serão ensaiados apenas com 28 dias de idade.

Figura 10- Traço P2C ao ser desmoldado



Fonte BARRETO, 2018.

As tabelas 25 e 26, juntamente com os gráficos 19 e 20, sintetizam a relação da resistência à compressão do concreto, nas diferentes idades, quando da adição de diferentes aditivos.

Tabela 25- Resumo de resistência à compressão

Resistência à compressão (MPa)			
Traço	Idade		
	7 dias	14 dias	28 dias
P	17,84	12,52	24,83
P1	28,91	31,32	33,39
P2	17,63	13,72	19,39
P3	12,7	11,43	16,13
P1C	25,65	31,05	34,88
P2C	-	-	14,58
P3C	-	-	11,29
E	20,75	18,43	19,53

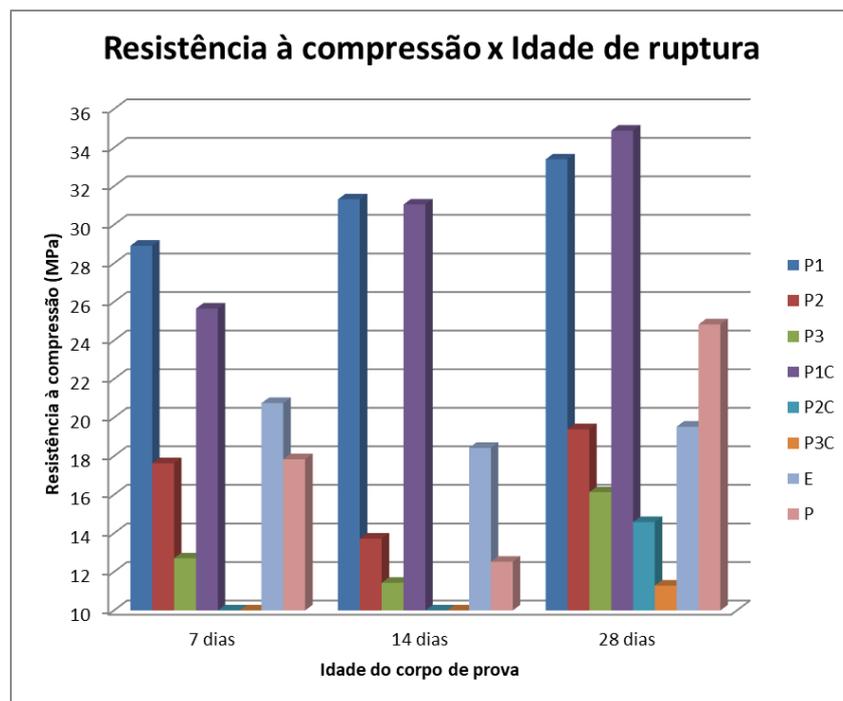
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Tabela 26 - Incremento de resistência ocasionado pelo consumo de aditivo

Incremento de resistência a partir do traço padrão			
Traço	Idade		
	7 dias	14 dias	28 dias
P1	62%	150%	34%
P2	-2%	9%	-22%
P3	-28%	-8%	-35%
P1C	43%	148%	40%
P2C	-	-	-41%
P3C	-	-	-54%
E	16%	47%	-21%

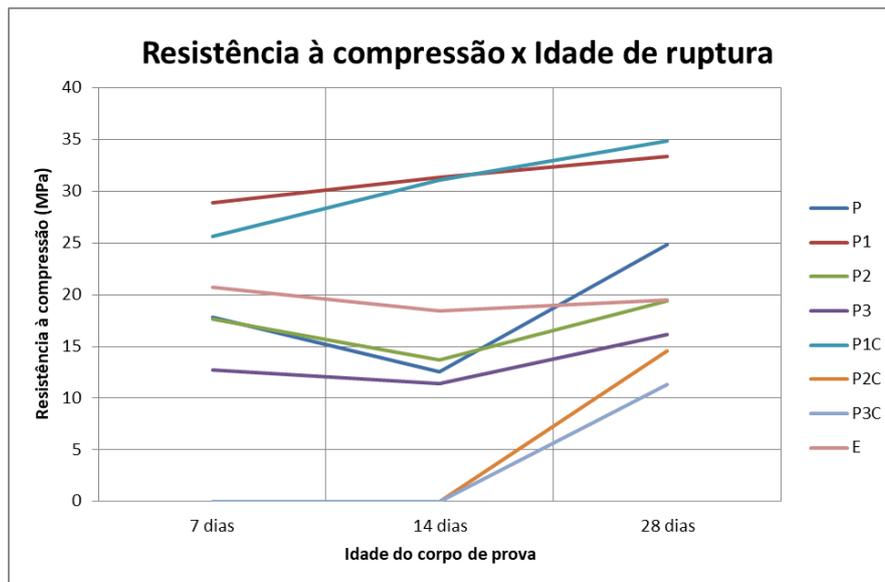
Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 19 - Análise entre traços da resistência à compressão



Fonte BARRETO, 2018.

Gráfico 20 - Gráfico de linhas referente à resistência à compressão



Fonte BARRETO, 2018.

Os resultados que se destacaram foram o alto ganho de resistência entre os traços P1 e P1C. Quanto aos outros traços, notou-se uma queda de resistência na idade intermediária da peça e logo após um incremento desta. Acredita-se que essa variação de resistência deu-se em função do método de adensamento escolhido, dado que houve relatos parecidos em alguns estudos similares.

Por fim, a relevância do uso do aditivo polifuncional 1 para o aumento da resistência à compressão é real e dependendo do caso à ser aplicado, necessária.

4.3.3. Determinação da massa específica

Para a determinação da massa específica em concretos endurecidos, utiliza-se a relação entre peso seco e volume dos corpos de prova cilíndricos, apresentados em kg/m^3 .

Para a definição da massa específica e índice de vazios, o ensaio começou com a colocação dos corpos de prova na estufa, onde esses permaneceram por 72 horas. Logo após, os corpos de prova foram dispostos em um tanque onde foi preenchido com água no volume correspondente a 1/3 de sua altura e assim permaneceu por quatro horas. Nas quatro horas subsequentes foi adicionado um volume de água correspondente a mais 1/3 da

altura do CP, totalizando 2/3. Após as oito horas já realizadas de ensaio, foi adicionado água no reservatório até cobrir os corpos de provas, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987). Os corpos de prova foram pesados quando passadas 72 horas de ensaio.

Os resultados estão descritos na tabela 27.

Tabela 27 - Determinação da massa específica

Determinação da massa específica			
Traço	Peso seco (kg)	Volume da amostra (m ³)	Massa específica (kg/m ³)
P1	2,45	0,001178097	2078,31
P2	2,27	0,001178097	1927,05
P3	2,43	0,001178097	2058,67
P1C	2,45	0,001178097	2078,39
P2C	2,43	0,001178097	2060,73
P3C	2,56	0,001178097	2170,25
E	2,37	0,001178097	2015,77
P	2,47	0,001178097	2094,16

Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Todos os resultados apresentados estão acima do mínimo de 1600 kg/m³ exigido pela NBR 16416.

5.3.4. Determinação do coeficiente de permeabilidade

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015) determina que para concreto permeável, moldado *in loco*, o coeficiente de permeabilidade pode ser determinado a partir do seu Anexo A, ou através da NBR 13292 (ABNT, 1995). Assim foram realizados ensaios em conformidade com as duas normas. Conquanto, após uma análise da ação do aditivo estabilizador combinado com outros polifuncionais notou-se um retardo na pega dessa composição. Logo para realizar essa confrontação, foram utilizados apenas os traços com a adição de aditivo polifuncional.

5.3.4.1. Ensaio a partir do Anexo A da NBR 6416

Após 20 dias de moldagem, o ensaio de permeabilidade foi realizado nas placas, essas se encontravam secas e foram armazenadas em um local limpo onde não havia poeira.

Para a realização desse ensaio, foi necessário um anel de infiltração do 300 mm, nesse foi realizado duas marcas, a primeira com 10mm e a segunda com 15 mm, usando a placa como referência de altura.

Foi feito uma pré-molhagem na placa com uma mangueira por 30 segundos, e logo em seguida foram adicionados 18 kg de água. Foi respeitada a altura de água no cilindro, entre as duas marcas realizadas, durante todo o ensaio. Desde o início da inserção dessa massa de água, foi marcado o tempo, para cálculos futuros. Esses procedimentos foram realizados nas duas faces da placa e em todas as placas realizadas.

A figura 12 retrata a placa de concreto drenante com o anel de infiltração fixado, pronta para dar continuidade ao ensaio.

Para melhor entendimento dos resultados obtidos, foram elaborados a tabela 28 e o gráfico 21.

Figura 11- Placa de concreto drenante



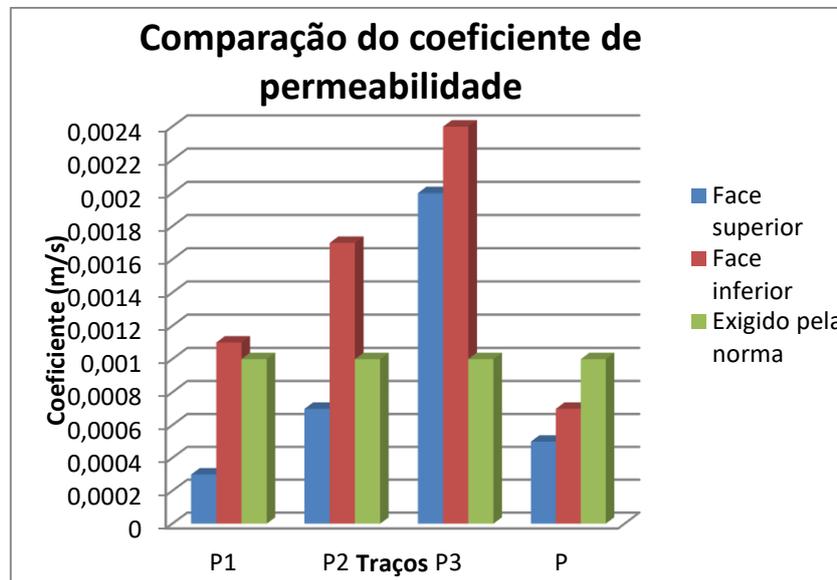
Fonte BARRETO, 2018.

Tabela 28 - Coeficiente de permeabilidade

Determinação do coeficiente de permeabilidade (K)		
Traço	NBR 16416	
	Face Inferior (m/s)	Face superior (m/s)
P1	0,0011	0,0003
P2	0,0017	0,0007
P3	0,0024	0,002
P	0,0007	0,0005

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 21 – Comparação do coeficiente de permeabilidade



Fonte BARRETO, 2018

Após uma análise foi verificado que, a priori, somente as faces inferiores dos traços aditivados estariam aptas para o uso, de acordo com a norma. Contudo, as faces superiores ainda possuem uma permeabilidade média ($K > 0,001 \text{ m/s}$) de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015).

Acredita-se que o método utilizado para o adensamento, o uso de soquete despencando a uma altura de 30 cm das placas não seja o ideal para esse caso, em virtude do baixo resultado de permeabilidade causado nas faces superiores, ocasionados pelo excesso de colmatação de vazios.

O traço padrão apresentou os piores resultados, para o ensaio de permeabilidade, ficando inviável o uso desse traço para a produção de concreto drenante.

5.3.4.2. Ensaio a partir da NBR 13292

Para a realização desse ensaio foram utilizadas as premissas descritas na NBR 13292 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.

Para a execução do ensaio, foi utilizado o permeâmetro de carga constante, onde dispõe de uma base inferior metálica que serviu para acoplar o corpo de prova no aparelho. Com a finalidade de evitar perda de água pela lateral, esse foi vedado com bentonita. Para preencher o vazio criado entre o corpo de prova e as paredes do equipamento, também foi utilizado bentonita no preenchimento. Assim, garantiu-se que a percolação de água se daria somente no sentido perpendicular à superfície do corpo de prova conforme a figura 13. A figura 14 representa o ensaio em andamento.

Figura 12 - Revestimento do equipamento com bentonita



Fonte BARRETO, 2018.

Figura 13 - Ensaio de permeabilidade em andamento



Fonte BARRETO, 2018.

Após o revestimento, retirou-se todo o ar presente na mangueira de entrada e saída de água do equipamento. Foi medida a altura do nível de água e foi certificado que essa altura se manteve constante. Logo após houve a liberação do fluxo de água até a saturação completa do corpo de prova, ou seja, até a água percolar por completo ao longo do corpo de prova e sair pelo outro orifício do equipamento. Após a conclusão da saturação, foi aferido o volume de água coletado em um recipiente no período de 20 segundos. Em seguida, o volume de água foi inserido em uma proveta de 1000 ml para verificar a quantidade de água que foi recolhida. Esse procedimento foi repetido por quatro vezes a fim de obter melhores resultados.

A tabela 29 representa a relação dos coeficientes de permeabilidades atingidos de acordo com cada traço.

Tabela 29- Coeficiente permeabilidade de acordo com a NBR 13292

Determinação do coeficiente de permeabilidade NBR 13292	
<i>Traço</i>	<i>Coeficiente (cm/s)</i>
P1	0,003
P2	0,006
P3	0,0048
P	0,0079

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Nota-se que o traço sem consumo de aditivo, traço padrão, obteve o maior resultado na obtenção do coeficiente de permeabilidade.

Os resultados foram expressos na unidade cm/s, conforme orientado pela NBR 13292.

5.3.4.3. Comparativo entre os ensaios de permeabilidade

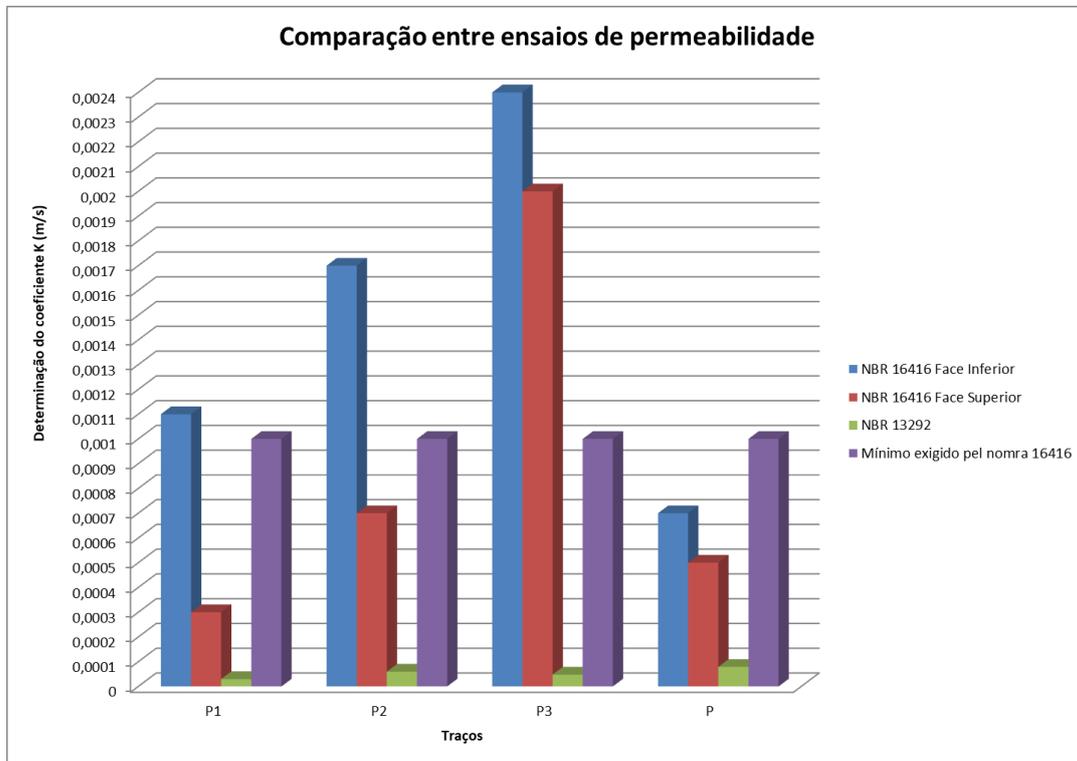
A tabela 30 e o gráfico 22 resumem os dados obtidos através dos ensaios realizados.

Tabela 30- Comparação entre ensaios de permeabilidade

Determinação do coeficiente de permeabilidade				
Traço	NBR 16416		NBR 13292 (m/s)	Mínimo exigido pela NBR 16416 (m/s)
	Face Inferior (m/s)	Face superior (m/s)		
P1	0,0011	0,0003	0,00003	0,001
P2	0,0017	0,0007	0,00006	0,001
P3	0,0024	0,002	0,000048	0,001
P	0,0007	0,0005	0,000079	0,001

Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Gráfico 22 - Comparação entre ensaios de permeabilidade



Fonte BARRETO, 2018.

Após uma breve análise no Quadro e gráfico acima, nota-se uma discrepância entre os resultados obtidos nos dois ensaios.

De acordo com os resultados obtidos, percebe-se uma disparidade entre os ensaios propostos pela NBR 16416 e pela NBR 13292, para todos os traços. Observando os resultados obtidos a partir da amostra preparada pela dosagem 3, verifica-se o excelente resultado apresentado quando analisado pela NBR

16416 e a não conformidade, quanto a permeabilidade, quando analisado pela NBR 13292.

5. CONCLUSÃO

Para melhor acompanhamento a tabela 31 demonstra a nomenclatura utilizada em cada traço.

Tabela 31 - Nomenclatura utilizada

Nomenclatura dos traços		
<i>Composição do traço</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Sigla</i>
Traço piloto	Padrão	P
Polifuncional 1	Poli 1	P1
Polifuncional 2	Poli 2	P2
Polifuncional 3	Poli 3	P3
Polifuncional 1 + estabilizador	Poli 1 completo	P1C
Polifuncional 2 + estabilizador	Poli 2 completo	P2C
Polifuncional 3 + estabilizador	Poli 3 completo	P3C
Estabilizador	Estabilizador	E

Fonte Adaptado, BARRETO 2018.

O desenvolvimento do estudo possibilitou as seguintes conclusões:

- Há controvérsias entre os resultados de permeabilidade obtidos através do anexo A da NBR 16416 e da NBR 13292. A diferença apresentada é muito alta e ainda leva ao questionamento de qual método seria o mais eficaz.
- Os traços que continham o aditivo polifuncional 1 apresentaram resistências à compressão superiores aos demais.
- O traço que continha o aditivo polifuncional 3 apresentou maior índice de permeabilidade, segundo a NBR 16416, dentre os traços utilizados.
- A dosagem de aditivo estabilizador foi muito alta e causou um retardo de hidratação acima do esperado. Isso inviabilizou alguns ensaios para os traços que continham essa adição.
- A consistência do concreto, em seu estado fresco, ficou semelhante às com as características referidas pela literatura. A

pasta cimentícia envolveu todos os grãos, houve um brilho na mistura no estado fresco, e ainda a mistura ficou homogênea ao ponto de descolar das paredes da betoneira. Contudo, o *slump* das misturas permaneceu em 0mm, o que inviabiliza o bombeamento desse tipo de concreto.

- Apesar dos resultados positivos quando a aparência do concreto em seu estado fresco acredita-se que o transporte ainda é inviável para esse caso.
- O uso do aditivo estabilizador reduziu a temperatura máxima em somente um traço dos estudados. No entanto ao compararmos os resultados dos outros ensaios, o uso desse aditivo não trouxe benefícios significativos. Por fim, acredita-se que o uso desse aditivo pode ser dispensável.
- Quando analisados todos os fatores necessários, acredita-se que o traço P3 seja o mais eficiente entre todos os estudados. Apesar de não ter resultados de resistência mecânica mais elevados, os resultados obtidos estão de acordo com o mínimo exigido pela norma NBR 16416. Contudo esse traço teve resultados de permeabilidade de massa específica muito bons e acima do esperado.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

____. **NBR NM 9:** Concreto e argamassa – Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Rio de Janeiro, 2002.

____. **NBR NM 43:** Cimento Portland – determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

____. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica

____. **NBR 5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 5738:** Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 5739:** Concreto – ensaio de compressão de corpos- de- prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

____. **NBR 7211:** Agregados para concretos – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

____. **NBR 8522:** Concreto – determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 9776:** Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 10342:** Concreto - Perda de abatimento. Rio de Janeiro, 1992.

____. **NBR 11579:** Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 13292:** Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

____. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 16607:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland** – BT-106, 7 ed., São Paulo, 28p. 2002.

BATEZINI, RAFAEL. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.** 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 2013.

BRAJA, M. DAS. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** Cengage learning, 560p. 2014.

BARRETO, ANA GABRIELA DE OLIVEIRA. **Análise do método da determinação do coeficiente de permeabilidade em concretos permeáveis aditivados através das normas NBR 16416 e NBR 13292.** 94p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília. 2018.

CADORE, JÚLIA CAMPREGHER; FAGUNDES, CAROLINE KORMANN; PEDRONI, GABRIELLA CONTESINI; SANTOS, SÍLVIA. **Avaliação da resistência mecânica e permeabilidade de concretos permeáveis com adição de agregado miúdo.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. 5p. Paraná, 2016.

CANHOLI, ALUÍSIO PARDO. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo, Oficina de Textos, 384p. 2014.

DELLATE, N; CLEARY, J. **Developing a Structural Design Method for Pervious Concrete Pavement.** Disponível em: <http://www.nssga.org/aftre/Symposium/2006-06.pdf>

EFFTING, CARMEANE. **Agregados.** Notas de aula. UDESC, Departamento de Engenharia Civil. Joinville, 2014.

Extração de agregados – Pedreira da Malaposta – Santa Maria da Feira. Disponível em <http://icsa.pt/client/skins/galeria.asp?page=101>

FOTOS PÚBLICAS. **Chuva alaga bairro e causa destruição em Brasília.** Disponível em <https://fotospublicas.com/chuva-alaga-bairro-e-causa-destruicao-em-brasilia/>

GLOBO, PORTAL G1. **Chuva causa alagamentos em diversos pontos de Brasília.** Brasília, Globo. 2013. Disponível em <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2013/11/chuva-causa-alagamentos-em-diversos-pontos-de-brasilia.html>

GOMES, ADAILTON DE OLIVEIRA. **Materiais de Construção II.** Notas de aula. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/MonalisaMacedo/caderno-de-laboratoriomateriaisdeconstrucao>

HELENE, PAULO R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo, PINI, 349p. 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** IBRACON, 2007. Editor Geraldo Cechella Isaia.

MARCHIONI, Mariana L.; SILVA, Cláudio O. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável.** Prática Recomendada PR-2. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, 2011.

MARIANO, HUMBERO RODRIGUES. **Influência do teor de argamassa e da granulometria de brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis**. 2014. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais** 2 ed. São Paulo, IBRACON, 782p. 2014.

NETO, ELDER FREIRE SILVEIRA. **Estudo da variação do teor de argamassa na composição de concretos permeáveis para atendimento da ABNT 16416:2015**. 92P. Trabalho de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2015.

NEVILLE, A. M.; J. J. BROOKS. **Tecnologia do Concreto**, tradução: Ruy Alberto Cremonini. - 2ª ed. Porto Alegre, Bookman, 448p. 2013.

OLIVEIRA, REGINA LÚCIA MELO DE; SILVA, SIMONE ROSA DA. **Alternativas compensatórias para drenagem urbana em ponto crítico da Cidade do Recife – PE**.

ONO, BRUNO WATANABE; BALBO, JOSÉ TADEU; CARGNIN, ANDRÉIA POSSER. **Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado**, 177p. Revista de Transportes, volume 5, ed. 3

PARISSOTO, MICHAEL; LINHARES, VÍTOR MARQUES; FERREIRA, LÍVIA ZOPPAS; PERERA, GABRIEL GALVAN; SCHWETZ, PAULETE FRIDMAN, LORENZI, ALEXANDRE. **Desenvolvimento e Aperfeiçoamento da Confecção de Pisos e Elementos Drenantes de Concreto Permeável**. Feira de Inovação Tecnológica da UFRGS – FINOVA. Porto Alegre, 2014.

PICANÇO, MARCELO DE SOUZA; GHAVAMI, KHOSROW. **Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia**. Revista Escola de Minas, Volume 61, 13-18p. 2008.

PINI, TECHNE. **Sistemas construtivos – Pavimentos de concreto permeável**. Ed. 190. Novembro/2012. Disponível em:

<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/190/artigo288015-3.aspx>

RAHMAN, SONIA; NORTHMORE, ANDREW B.; HENDERSON, VIMY; TIGHE, SUSAN L. **Developing A Framework for Low-Volume Road Implementation of Pervious Concrete Pavements**, International Journal of Transportation Science and Technology, volume 4, 91p. 2015

SILVA, D. C. DE S.; PASSOS, P. G. C. **Estudo das características do concreto permeável produzido com agregado graúdo e miúdo**. 22p. Trabalho de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília – UCB. Brasília, 2015.

SILVA, Fernando Benigno da. **Pavimentos de concreto permeável**. Disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/190/artigo288015-3.aspx>

TEIXEIRA, AMANDA ROSA. **Estudo da aplicação in loco de concreto permeável em pavimentos segundo a NBR 16416:2015**, 27p. Projeto de pesquisa – Universidade Católica de Brasília –UCB, Brasília. 2017.

TENNIS, PAUL, D; LEMING, MICHEL, L; E AKERS, DAVID, J., **Previous Concrete Pavements**, EB302.02. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, e National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, EUA. 36p. 2004.

TUCCI, CARLOS E. M. – **Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**, Revista Brasileira de recursos hídricos, volume 5, Porto Alegre. 61-68p. 2000.

UFRGS. **Elementos de drenagem urbana utilizando concreto permeável**. Disponível em <https://www.ufrgs.br/vitrinetecnologica/maquinas-e-equipamentos/elementos-de-drenagem-urbana-utilizando-concreto-permeavel/>

U.S ENVIRONMENTAL PROTECTY AGENCY, 2009. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/waterfront.pdf>

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de – **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 213p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 2009.

WILKEN,P.S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB P477, 1978.

ZANETTA, LUIZ HENRIQUE RODRIGUES. **Inserção de Uso do Concreto Permeável no Espaço Público Urbano**. Menção Honrosa Prefeitura Municipal de Guarulhos/SP. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/9182-men%C3%A7%C3%A3o-honrosa-2012-prefeitura-municipal-de-guarulhos-sp>