

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

GUSTAVO MOREIRA RAMOS

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL COM ADIÇÃO DE
AGREGADO MIÚDO E RESÍDUO (CINZA DE MADEIRA)**

Joinville

2018

GUSTAVO MOREIRA RAMOS

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL COM ADIÇÃO DE
AGREGADO MIÚDO E RESÍDUO (CINZA DE MADEIRA)**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Msc. Valéria Bennack

GUSTAVO MOREIRA RAMOS

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL COM ADIÇÃO DE
AGREGADO MIÚDO E RESÍDUO (CINZA DE MADEIRA)

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Prof. Msc. Valéria Bennack

Orientadora

Presidente

Prof. Dr. Yader Alfonso Guerrero Pérez

Membro

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Msc. Juliana Cristina Frankowiak

Membro

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à minha família, pelo apoio, força e suporte durante o trabalho e a graduação, vocês são tudo pra mim, e estão acima de tudo. Em seguida, deixo aqui minha admiração e respeito pela professora e orientadora, Msc. Valéria Bennack, em que apresentou interesse, soluções, correções e conselhos precisos durante o trabalho, sinônimos de um mentor de verdade. Sem o suporte estrutural e financeiro da UFSC não seria possível a realização das atividades, bem como a utilização dos equipamentos da Faculdade Anhanguera, moldes metálicos da Perville Engenharia e Universidade do Estado de Santa Catarina e por fim, equipe InfraTEC e professor Marcelo Heidemann. Aos integrantes do laboratório, pelos sábios conselhos, especialmente Victor Dagnoni, em que foi decisivo na elaboração e execução das atividades.

Após os agradecimentos especiais, gostaria de retribuir com palavras o apoio dos amigos da graduação, bem como Victor Hugo Chave Dagnoni, Felipe Brother Souza, Felipe Japa Hirata. Aos integrantes da república Toka, bem como aos voluntários do semestre, que me auxiliaram, principalmente os membros da Equipe InfraTEC e os colegas que compartilharam o laboratório comigo.

Os agradecimentos aqui citados talvez não sejam suficientes, pois para uma conquista não há limites. Aos que não foram citados nessa nota, e que de alguma maneira me acompanharam nessa conquista, sintam-se igualmente agradecidos. De todas as palavras do trabalho, eu escolho uma: obrigado! Para cada um, que de forma direta ou indireta me ajudou, incentivou e proporcionou esse momento.

RESUMO

A partir da década de 60, o Brasil passou a ter uma maioria de população urbana, por muitas vezes, o planejamento das cidades e grandes centros não teve o planejamento adequado para o avanço. Inovações como o concreto permeável, citadas em 1970 nas *BPM's*, buscam otimizar materiais e espaço, assim, o concreto permeável traz novas diretrizes para problemas urbanos como inundações e alagamentos de grandes centros. O concreto permeável é um material de grande porosidade que tem altos valores de permeabilidade, apresentando ao mesmo tempo capacidades de suporte no revestimento de pavimento. O presente trabalho busca a adição de agregado miúdo e reutilização da cinza de madeira da indústria nas dosagens, bem como a avaliação dos valores de resistência à compressão e tração, parâmetros que tiveram grandes expressões e significativo aumento, sem alterar a permeabilidade, que abrange ao final a mesma ordem de grandeza de coeficiente de permeabilidade (k) em 10^{-1} cm/s, valor típico de permeabilidade de pedregulhos e areias.

Palavras-chave: Drenagem. Permeabilidade. Concreto Permeável. Sustentabilidade.

ABSTRACT

From the 60's, Brazil began to have a majority of urban population, for many times, the planning of cities and large centers did not have adequate planning for the advancement. Innovations such as permeable concrete, cited in the 1970s in BPM's, seek to optimize materials and space, thus permeable concrete brings new guidelines for urban problems such as flooding and flooding of large centers. Permeable concrete is a high porosity material that has high permeability values, while exhibiting support capabilities in the flooring. The present work seeks the addition of small aggregate and reuse of the industrial ash in the dosages, as well as the evaluation of the values of resistance to compression and traction, parameters that had great expressions and significant increase, without altering the permeability, that covers the the final order of magnitude of permeability coefficient (k) in 10^{-1} cm / s, typical value of boulder and sand permeability.

Keywords: Drainage. Permeability. Pervious Concrete. Sustentability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico.....	11
Figura 2 - Amostra de uma placa de concreto permeável.	22
Figura 3- Cinza de Madeira com a queima incompleta.	31
Figura 4 – Fluxograma da pesquisa.....	35
Figura 5 – Materiais utilizados no traço.....	36
Figura 6 - Bomba de vácuo (a) e pesagem com picnômetro do ensaio MVR (b).....	44
Figura 7 - Métodos e equipamentos na determinação da absorção de água na areia média.	47
Figura 8 - Equipamentos utilizados no processo de moldagem dos corpos de prova.....	48
Figura 9 – Mistura do concreto permeável, traço A.....	49
Figura 10 – Determinação do valor de ensaio de compressão diametral.	52
Figura 11 – Etapas de cura dos CP's.....	60
Figura 12 – Amostras de concreto permeável para o ensaio de permeâmetro	61
Figura 13 – Equipamentos envolvidos no processo do ensaio de compressão simples.....	62
Figura 14 – Procedimento e equipamento do ensaio de compressão diametral.....	64
Figura 15 – Etapas da determinação das propriedades físicas.	66
Figura 16 - Permeâmetro de carga constante.	70
Figura 17 – Amostras retificadas para ensaio de permeabilidade constante.....	71
Figura 18 - Variação dos valores de K.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável .	27
Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo.	37
Tabela 3 – Tipos de cimentos e suas composições em massa.	38
Tabela 4 – Propriedades e características da cinza de madeira, obtidas por Bennack (2016).	39
Tabela 5 – Tipos de Cimentos e suas composições em massa.	40
Tabela 6 - Traços da pesquisa, número de amostras e materiais.	42
Tabela 7 - Dosagem T3 após a execução	49
Tabela 8 - Fator de correção para corpos-de-prova cilíndricos em de compressão axial.	51
Tabela 9 - Valores e resultados do ensaio MVR.	55
Tabela 10 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.	56
Tabela 11 – Granulometria e material passante da areia média.	56
Tabela 12 – Valores do ensaio de picnômetro para areia média.	58
Tabela 13 - Propriedades e características da areia média.	58
Tabela 14 - Dados do ensaio granulometria cinza de madeira.	59
Tabela 15 - Valores obtidos no ensaio de propriedades físicas.	66
Tabela 16 - Resultados das propriedades físicas do concreto permeável	67
Tabela 17 - Valores do ensaio de permeabilidade.	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Hidrograma da vazão de áreas urbanizadas e não urbanizadas	12
Gráfico 2 - Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável.	28
Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia média.	57
Gráfico 4 - Curva granulométrica da cinza de madeira.	59
Gráfico 5 – Resistência á compressão das dosagens.....	62
Gráfico 6 - Resistência à tração das diferentes dosagens.....	64
Gráfico 7 - Determinação da absorção de água.....	68
Gráfico 8 - Densidade aparente das dosagens.....	69
Gráfico 9 - Porosidade aberta.....	69
Gráfico 10 - Coeficiente de permeabilidade das dosagens.	72

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Densidade real da brita 1 pelo ensaio MVR.....	44
Equação 2 - Densidade real com picnômetro.....	46
Equação 3 - Absorção do material.	47
Equação 4 - Resistência em compressão axial simples (MPa).....	51
Equação 5 - Conversão compressão diametral para MPa.	52
Equação 6 – Absorção de água	53
Equação 7 – Densidade aparente.....	53
Equação 8 – Porosidade aberta.....	53
Equação 9 – Lei de Darcy	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem

°C – Graus Celsius

a/c - Fator água / cimento

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

cm - Centímetro

CP – Corpo-de-Prova

dmax - Diâmetro Máximo

h – Horas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

In - Polegada

k – Coeficiente de Permeabilidade

kg - Quilograma

l - Litro

l:m Relação cimento/materiais secos

m - Total de Agregados

m²- Metro quadrado

m³ - Metro cúbico

mg - Miligramas

min - Minutos

mm - Milímetros

MPa – Megapascal

MPa - Megapascal

NBR – Norma Brasileira

s - Segundos

t - Tempo

T1 – Traço 1 (referência)

T2 – Traço 2 (10% areia média)

T3 – Traço 3 (10% cinza de madeira)

tf - tonelada-força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	OBJETIVOS.....	7
1.1.1	Objetivo Geral	7
1.1.2	Objetivos Específicos	7
2.	DRENAGEM URBANA	8
2.1	IMPACTOS URBANOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	10
2.2	SISTEMA CLÁSSICO E ALTERNATIVO DE DRENAGEM URBANA	13
2.3	ALTERNATIVAS PARA ESCOAMENTO SUPERFICIAL	14
3.	CONCRETO PERMEÁVEL	18
3.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	18
3.2	CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL	20
3.2.1	Vantagens econômicas	23
3.2.2	Propriedades e valores na aplicação	25
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO	27
3.3.1	Características no estado fresco	29
3.3.2	Características no estado endurecido	29
4.	SUSTENTABILIDADE	31
4.1	CINZA DE MADEIRA.....	31
5.	METODOLOGIA	34
5.1	FLUXOGRAMA.....	34
6.	MATERIAIS	36
6.1	BRITA.....	36
6.2	AREIA MÉDIA.....	37
6.3	CIMENTO.....	37
6.4	CINZA DE MADEIRA.....	39
6.5	ÁGUA	39
6.6	TRAÇOS DE DOSAGEM REFERÊNCIA, COM AREIA E COM CINZA	40
7.	MÉTODOS	43
7.1	PROPRIEDADES DA BRITA	43
7.1.1	Ensaio MVR para densidade real da brita	43
7.2	PROPRIEDADES AREIA MÉDIA.....	45
7.2.1	Granulometria	45

7.2.2	Ensaio picnômetro	45
7.2.3	Absorção de água da areia média	46
7.3	EXECUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA (CP's)	48
7.3.1	Moldagem e cura dos CP's	49
7.3.2	Moldagem e cura dos CP's para o permeâmetro	50
7.4	ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES	50
7.5	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS-DE-PROVA CILINDRICOS	51
7.6	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS: ABSORÇÃO DE ÁGUA, DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE ABERTA	52
7.7	ENSAIO DE PERMEABILIDADE	53
8.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
8.1	ENSAIO MVR PARA A BRITA 1	55
8.2	AREIA MÉDIA E SUAS PROPRIEDADES	55
8.2.1	Ensaio picnômetro	57
8.3	CURVA GRANULOMÉTRICA CINZA DE MADEIRA	58
8.4	PROCESSO DE CURA DOS CP'S	60
8.5	MOLDAGEM E CURA DOS CP'S PARA O PERMEÂMETRO	60
8.6	ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES	61
8.7	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS-DE-PROVA CILINDRICO	63
8.8	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS: ABSORÇÃO DE ÁGUA, DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE ABERTA	65
8.9	ENSAIO DE PERMEABILIDADE	70
9.	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

O impacto do desenvolvimento urbano acelerado impacta no processo hidrológico, há uma ligação direta entre a área construída e da impermeabilização do solo (TUCCI, 2008). Segundo Esteves (2006), os depósitos inapropriados ou poluentes sedimentados no entorno da área urbana são transportados por corpos hídricos decorrentes das cheias ou chuva. A erosão também tem a parcela aumentada, uma vez que a área permeável e de drenagem é limitada, tornando assim, o escoamento mais pontual e volumoso (TUCCI, 1989).

As *Best Management Practices* (BPMs), ganham espaço e avançam nos conceitos pré-estabelecidos de drenagem e projeto. Baptista & Nascimento (2005) citam medidas não estruturais são recomendadas e podem contribuir para minimizar as cheias e inundações, reforçando que são técnicas que têm como finalidade evitar agravantes de montante para jusante, sendo por meio do controle de escoamento na bacia, mais próximo de sua fonte, e não pelo curso hídrico em si.

O conceito americano traz ideias como controle de águas pluviais em escala de bacia e no uso de estruturas físicas para armazenamento e infiltração do escoamento. Uma forma de otimizar o escoamento e reduzir a impermeabilização, enchentes e agravantes é aumentar a permeabilidade do solo, com o concreto permeável no revestimento de pavimento.

Há mais de uma possibilidade de execução e trabalho do concreto de alta porosidade, entre os quais: pavimento de concreto asfáltico poroso; pavimento de blocos de concreto permeável intertravados e pavimento de concreto permeável (HOLTZ, 2011). Considerando as vantagens ambientais e funcionalidade do material, o presente trabalho procura pontuar em casos de revestimento de pavimento para tráfego de veículos leves, calçadas, estacionamentos e áreas de pedestres e ciclistas, como expressa Dellate e Clearly (2006).

A ideia da execução do pavimento concreto permeável se dá na capacidade do modelo atender as necessidades de drenagem, reconsiderando a execução de obras de maiores proporções e gestão de águas pluviais intermediárias (ACIOLI, 2005). Sendo assim, as questões de avaliação desse material, das propriedades, comportamento hídrico e mecânico, são interessantes ao estudo.

Somada a funcionalidade do concreto permeável, a pesquisa procura abranger em uma das dosagens, a reutilização da cinza de madeira, como substituição de agregado miúdo. Além do valor sustentável, a cinza de madeira utilizada na elaboração de concreto, possui ganho

expressivo de resistência mecânica, bem como observado uma permeabilidade e alta absorção de água do material (BENNACK, 2016).

1.1 OBJETIVOS

Para verificar propriedades mecânicas e de permeabilidade do concreto permeável com adição de agregado miúdo e cinza de madeira, propõem-se os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

A finalidade do trabalho é analisar a adição em massa de agregado miúdo para o concreto permeável, analisando assim os valores de resistência à tração e compressão em frente a permeabilidade das dosagens em relação a um traço referência.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir um traço referência, a partir de pesquisas e literatura, para assim estabelecer a substituição de material válida para o concreto permeável para as outras dosagens;
- Verificar as propriedades mecânicas de resistência à compressão, à tração na flexão, absorção e permeabilidade do concreto permeável na dosagem referência;
- Determinar, as propriedades mecânicas de resistência à compressão, à tração, absorção e permeabilidade com o uso do agregado miúdo, e a reutilização da cinza de madeira.
- Comparar e analisar as vantagens e desvantagens em termos mecânicos e hidráulicos das diferentes dosagens, frente à substituição do agregado miúdo, para assim, discutir a viabilidade da utilização de cada dosagem.

2. DRENAGEM URBANA

No contexto do desenvolvimento nacional, a intensificação dos processos de urbanização altera as condições hidrológicas e ambientais tornando cada vez mais complexos os desafios da drenagem urbana, uma vez que envolve aspectos sanitários, técnicos, ambientais e legais. A dinâmica e organização da expansão urbana e de grandes massas, nas últimas décadas, por muitas vezes é feita com falhas ou omissões no planejamento urbano, impactando em diversos pontos negativos locais ou pontuais, consequência da falta de infraestrutura adequada (TUCCI, 2008).

A revolução industrial alterou a distribuição populacional, com o surgimento de oportunidades e necessidades, quando grandes centros de massas começaram a ascender. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) o Brasil apresentou, a partir de 1960, uma maior população urbana, sendo que em 2010 este índice representava aproximadamente 84%. Boa parcela das cidades convive em condições sem infraestrutura adequada, resultado da falta de planejamento e redução dos investimentos públicos a partir da década de 1980.

Segundo Tucci (2007), dentre os fatores negativos associados aos aspectos expostos anteriormente, destaca-se a drenagem urbana insuficiente ou mal planejada, decorrentes de sistemas obstruídos ou subdimensionados. Tucci (2003) também expõe que, nos últimos anos, a população aumentou principalmente nas periferias das metrópoles, um agravante na questão de ocupações irregulares e de alterações superficiais desordenadas.

Os grandes centros são construídos por uma grande quantidade de edificações, onde grandes áreas inicialmente rurais, foram transformando-se em centros residenciais, devido à crescente densificação dos centros. Mendonça (2004) fez análises do impacto dessa dinâmica, analisando a relação entre a hiper-densificação de centros urbanos já consolidados e o alastramento de suas respectivas malhas urbanas para áreas circundantes, onde a ocorrência de impactos ambientais é frequente.

Como explica Tucci (1997), vários fatores trazem consequências indesejadas para o sistema de drenagem urbana quando as cidades crescem, tais como:

- a) aumento das vazões máximas, dos volumes escoados e antecipação dos picos de vazão devido a maior capacidade de escoamento através dos condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- b) redução da evapo-transpiração, do escoamento subterrâneo e rebaixamento do

lençol freático;

c) aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos;

d) deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido (principalmente no início das chuvas) e a ligações clandestinas de esgoto sanitário no pluvial.

Dada situações adversas que impedem construir sistemas adequados na mesma proporção que a ocupação urbana avança, grandes porções das cidades modernas são dotadas de sistemas de macro-drenagem deficientes, o que acarreta riscos elevados de ocorrência de inundações, que podem ser agravados pelas enchentes dos corpos de água, ocasionando sérias consequências em termos de perdas sociais e econômicas.

Ciria (1996, apud ACIOLI, 2005, p. 3) cita os seguintes danos resultantes do processo de urbanização:

- a) Aumento da frequência das inundações, assim como de sua intensidade;
- b) Redução da umidade do solo, que leva a uma redução do lençol freático;
- c) Diminuição do escoamento de base dos rios;
- d) Aumento na carga de poluentes decorrente da rede pluvial ou do escoamento superficial.

Nota-se também que as áreas localizadas a montante podem contribuir fortemente para os impactos, mas não são afetadas na mesma proporção se comparadas com aquelas localizadas a jusante, que sofrem diretamente os efeitos do mesmo, mesmo quando dotadas de redes não projetadas para um volume máximo horário (Tucci, 2003).

Apesar da frequência do problema, Tucci (2007) expõe que muitas cidades de médio e grande porte não investem na solução do mesmo, ou adotam estratégias errôneas e inadequadas acerca da implantação dos sistemas de drenagem.

Canholi (2005) ressalva que a estratégia de construir sistemas de drenagem cada vez maiores não é sustentável. O paradigma atual faz com que seja despendido um elevado montante de recursos para a construção de sistemas de grande porte. Opções como canalizações de grandes dimensões, barragens, diques e outros reservatórios acabam mobilizando muitos materiais e demandam fortes intervenções no tecido urbano. Muitas vezes as medidas, não conseguem, isoladamente, resolver o problema.

Tucci (2003) reforça que encarar o desafio da drenagem e seus métodos é importante,

uma vez em que há um cuidado (prevenção) com a inundação, escassez hídrica e problemas de saneamento e saúde, devido à poluição nos corpos hídricos. A finalidade nesse cenário é conseguir, de alguma forma, mobilizar toda a água, retirar e canalizar a água no menor tempo, de áreas críticas ou concentradas, ao invés de apenas mobilizá-la para outra área, o que acarreta na transferência do problema, e não em sua efetiva solução.

O problema nas grandes metrópoles está assumindo tal dimensão que acaba provocando uma retomada de condições sanitárias similares às prevalentes antes da Revolução Industrial, o que possibilita o retorno de uma série de doenças endêmicas que se considerava superadas. Observa-se uma incidência preocupante de casos de leptospirose e disenterias associados às más condições de drenagem urbana (Netto et al. 2005).

Grandes referências nacionais em drenagem, Canholi (2005) e Tucci (2007) consideram que é necessário mudar o paradigma a adotar, nos estudos de macrodrenagem, uma visão mais holística de gestão das águas, que considere toda a bacia envolvida e busque promover um equilíbrio entre a quantidade de água escoada e infiltrada.

Nessa nova abordagem o uso de pavimentos permeáveis acaba sendo uma importante contribuição. Eles são um tipo de pavimento altamente eficiente, que não só podem ajudar na infiltração, mas também atuar como reservatórios temporários de um considerável volume de água e atuar como filtro para o solo (BATEZIN, 2013).

Por isso, considera-se que os mesmos podem ter um papel fundamental na gestão de águas pluviais e dada a escassez de estudos sobre o tema no Brasil, ressalta-se a importância de trazer o tema e analisá-lo.

2.1 IMPACTOS URBANOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

O processo de impermeabilização do solo faz com que este perca a sua capacidade natural de infiltração e percolação. Onde antes as águas percolavam naturalmente no solo, são inseridos elementos impermeáveis, tais como lajotas de basalto, concreto asfáltico e construções. O aumento do volume de escoamento superficial propicia o rápido transporte das águas para as áreas mais baixas, favorecendo a ocorrência de inundações.

Parkinson e colaboradores (2003) mencionam que quando não há um planejamento adequado do solo, somada à ausência de fiscalização, ocorrem problemas como as inundações, que acabam prejudicando o sistema natural de drenagem de corpos hídricos.

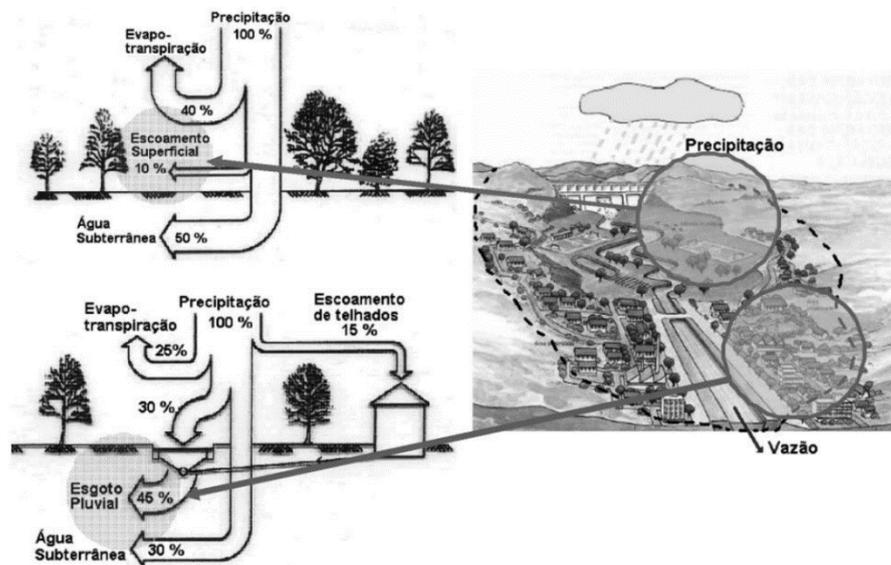
Agra (2001) defende a ideia de que o fator determinante que agrava a questão da drenagem urbana é a impermeabilização do solo associada à ocupação urbana. A criação de

casas, associada à pavimentação de jardins e ruas, de fato gera uma camada impermeável contínua e de grande extensão, que direciona toda a água precipitada, rapidamente, para o sistema de escoamento ou para os corpos de água existentes na região.

Tucci (2003 e 2007) reforça que tais problemas estão conectados a falta de planejamento, plano diretor e fiscalização. Comenta também que por muitas vezes, obras públicas não tomam o projeto adequado por motivos de verba e política.

Algumas consequências do avanço de impermeabilização do solo e impacto hidrológico, estão relacionados a alteração da movimentação do fluxo de água na bacia e a redução do nível do lençol freático, conforme Figura 1. Lerner (1990) afirma que o ciclo tem sido alterado e por muitas vezes, deixa de ser reabastecido pelas chuvas, apontando numa perda de 10 a 50% nas redes de abastecimento de águas, nos grandes centros urbanos. Esse volume, que escoam das redes urbanas, juntamente com a precipitação, acaba recarregando os aquíferos, que recebem vazões entre 100 e 300mm/ano.

Figura 1 – Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico.



Fonte: Tucci (2008)

Tucci (1995) explica que, com a crescente impermeabilização, a bacia perde a sua funcionalidade, já que pontos de detenção natural e a capacidade das plantas de ajudar a reter parte dessa água também se perdem com as alterações. Dessa forma, surge a necessidade de tubulações, retificações de rios e revestimento de canais, para o gerenciamento dessas águas.

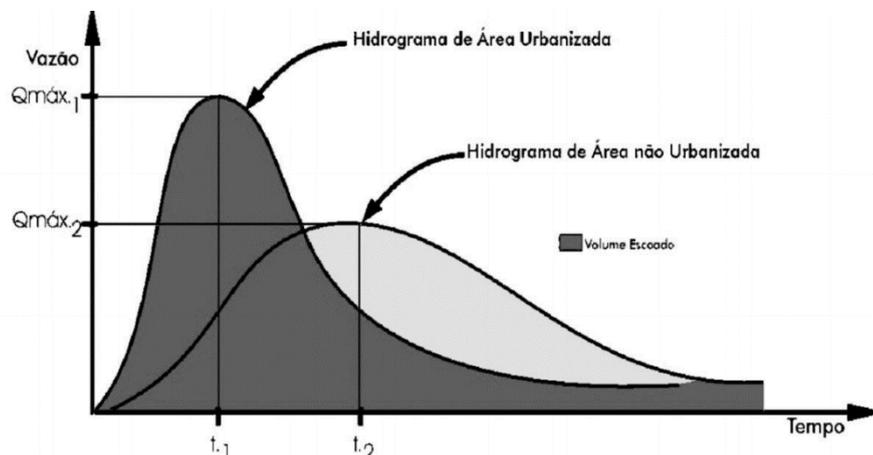
Com a retirada da vegetação e a alteração do ambiente, além da perda de capacidade de infiltração no solo, ocorre também uma importante redução da evapotranspiração. Como

explica Tucci (2007), com a ausência de cobertura vegetal, que retém água no seu interior, as superfícies impermeáveis acabam não desempenhando essa importante função.

Consequentemente, o equilíbrio térmico é impactado, principalmente em grandes centros, onde existem modificações expostas, como telhados, asfaltos e construções semelhantes e ocorre a retenção de calor. Em dias mais quentes, esse fenômeno é abrandado pela evapotranspiração, uma vez em que o solo está úmido e as partículas de água que percolariam pelo solo tendem a evaporar.

Essas alterações acarretam em um aumento do hidrograma, pois as águas pluviais que percolavam naturalmente no solo, acabam permanecendo em alguns locais mais baixos, provocando transtornos. Conforme ilustra o Gráfico 1, áreas urbanizadas apresentam um pico de vazão muito alto em um curto intervalo de tempo, o que não ocorre em áreas não urbanizadas, que apresentam uma vazão mais distribuída em intervalos maiores de tempo (TUCCI, 1989).

Gráfico 1 - Hidrograma da vazão de áreas urbanizadas e não urbanizadas



Fonte: TUCCI (1989)

Uma das consequências do escoamento superficial, apontado por Neves (2006), é o incremento do carreamento de resíduos sólidos pela urbanização descontrolada das grandes cidades e pela impermeabilização do solo. Esses resíduos sólidos por muitas vezes armazenados nas ruas, à espera de coletas, possivelmente serão carreados pelas enxurradas, obstruindo as canalizações e aumentando os problemas de drenagem.

Além dos problemas de drenagem, o carreamento dos resíduos sólidos provoca uma deterioração da qualidade da água, o que pode ameaçar os sistemas de abastecimento de água.

Como explica Porto (2001), as enxurradas, com fluxos de alta velocidade, carregam muito material solto ou solúvel para os corpos hídricos, que passam a receber cargas significantes de poluentes, comprometendo a sua qualidade.

Para melhorar a qualidade dos corpos de água urbanos é preciso também, cuidar das águas pluviais provenientes do rápido escoamento das chuvas, resultado da impermeabilização do solo, já que podem se contaminar ao passar por locais como áreas em construção, depósitos de resíduos sólidos, industriais, de saúde e outros (TUCCI, 2003).

Schueler (1987, apud Neves, 2006, p.12) destaca que foram observados altos valores de DBO em áreas densamente povoadas com grande quantidade de superfícies impermeáveis, esgotamento obsoleto e muitas populações de animais domésticos. Em áreas suburbanas, com boa preservação de áreas verdes e baixo número de habitantes, esse quadro não se constituiu, sendo possível manter um meio ambiente equilibrado, propício para a ocorrência de muitas espécies de plantas e animais, não apenas de peixes.

2.2 SISTEMA CLÁSSICO E ALTERNATIVO DE DRENAGEM URBANA

Baptista & Nascimento (2005) trataram a questão da drenagem urbana através de duas abordagens em relação aos sistemas de intervenção hidráulica: o tradicional ou clássico com base higienista e o técnico alternativo com base em medidas compensatórias de drenagem e controle na origem.

O sistema clássico para drenagem de águas pluviais e servidas recomenda sua rápida evacuação das áreas urbanas, por meio da utilização de condutos preferencialmente subterrâneos funcionando por gravidade. São constituídos basicamente de dispositivos de microdrenagem que efetuam o transporte das águas superficiais nas ruas (sarjetas), sua captação (bocas de lobo) e o desague até sistemas de macrodrenagem constituídos de canais abertos ou galerias.

Já os sistemas alternativos ganham ênfase, a partir de 1970, outra abordagem para tratar o problema das enchentes foi desenvolvida na Europa e América do Norte, considerando o conceito de “tecnologias alternativas” ou “compensatórias” de drenagem, estas tecnologias buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e preservação ambiental.

Denominadas BPM's (*Best Management Practices*), os conceitos são alternativos, em relação às clássicas, pois consideram o impacto da urbanização de forma geral, buscando

compensar sistematicamente os seus efeitos. A compensação é efetuada pelo controle do excesso de água oriunda da impermeabilização, evitando-se sua transferência rápida para jusante.

Neste contexto, medidas não estruturais são recomendadas e podem contribuir para minimizar as cheias e inundações, conforme Baptista & Nascimento (2005) tais medidas são :

- a) Bacias ou reservatórios de detenção ou bacias de amortecimento de cheias;
- b) Estruturas de armazenamento temporário, implantadas por simples adequação de configuração topográfica em áreas de estacionamento, terrenos esportivos e áreas livres em geral;
- c) Pavimentos porosos ou permeáveis, destinados ao armazenamento temporário e/ou infiltração, em áreas de estacionamento e no sistema viário;
- d) Estruturas que favorecem a infiltração e a percolação, tais como trincheira, poços, valas, valetas etc.;
- e) Canalizações em cursos d'água com técnicas que favorecem o escoamento lento ou mesmo a detenção temporária das águas;
- f) Tratamento do fundo dos vales com zoneamento de planícies de inundação e delimitação de áreas destinadas ao armazenamento temporário.

2.3 ALTERNATIVAS PARA ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O processo de urbanização acaba degradando o meio ambiente, inclusive o solo onde são construídas residências, prédios e demais edificações. O desenvolvimento de núcleos urbanos de grandes dimensões contribui para uma gradual e intensa impermeabilização do solo, resultando numa alteração da capacidade de infiltração das águas pluviais, reduzindo a recarga dos aquíferos e elevando o escoamento superficial com potenciais inundações em áreas mais baixas (TUCCI, 2003).

Acioli (2005) afirma que os atuais sistemas de drenagem se encontram ultrapassados, não atendendo mais as necessidades dos centros urbanos, se estendendo para além dos seus limites, comprometendo todo o fluxo das águas na bacia. O seu funcionamento tem base no rápido afastamento do excedente pluvial, que, simplesmente encaminha o problema de um ponto da cidade (montante) a outro (jusante).

As consequências são o aumento das vazões de pico, aumento do volume escoado, redução do tempo de escoamento e ocorrência de cheias e enxurradas. Todos esses fatores acabam por elevar a gravidade das inundações, devido a uma gama enorme de consequências,

desde danos estruturais até problemas de saúde pública.

No processo de urbanização das grandes cidades, em que o solo natural foi substituído por concreto e asfalto, há uma perda da infiltração natural das águas pluviais nesse solo. Para permitir o escoamento dessas águas foram construídos canais e tubulações, resultando em altos custos e num considerável impacto sobre o meio ambiente.

As dimensões necessárias para a drenagem dessas águas têm relação direta com a vazão e um alto custo de instalação, que aumenta à medida que o processo de impermeabilização continua. Tucci (2007) entende que para reduzir esses custos, e evitar todos os impactos associados a essa questão, a melhor opção seria a criação de sistemas que permitissem que as águas pluviais se infiltrassem novamente no solo, conforme ocorria antes do processo de urbanização e impermeabilização.

Para se tentar reverter o quadro de problemas de drenagem, Acioli (2005) converge em pontos com Tucci, além da modernização e da drenagem urbana, devem-se gerenciar as águas pluviais na fonte da geração do escoamento superficial, não mais encaminhando o problema para outro setor da cidade. O autor ainda divide as alternativas para melhoria dos sistemas de drenagem em dois grupos, tendo como base dois princípios básicos:

- a) Incremento da infiltração da água no solo, quando possível, para reduzir o escoamento superficial à jusante (dispositivos de infiltração);
- b) Armazenamento provisório da água pluvial, para controlar o escoamento superficial, e limitar a poluição a jusante (dispositivos de retenção e detenção).

Dependendo de sua natureza, as novas tecnologias podem reduzir os volumes escoados, favorecendo a infiltração das águas drenadas, ou colaborar na retenção dos poluentes presentes nas enxurradas urbanas.

O ponto principal desses novos dispositivos é manter, dentro do possível, as condições hidrológicas do ambiente, combinando os processos de infiltração, interceptação e amortecimento com o objetivo de reconstituir, na medida do possível, as condições iniciais. Os principais dispositivos de infiltração são (TUCCI, 1995):

- a) Planos de infiltração;
- b) Valas de infiltração;
- c) Bacias de percolação;
- d) Entradas permeáveis na rede de drenagem;
- e) Trincheiras ou valas permeáveis;
- f) Meio-fio permeável;

g) Pavimentos permeáveis;

Dentre as estratégias para promover uma maior infiltração destacam-se o uso de pavimentos permeáveis. No Brasil, os pavimentos permeáveis sempre foram confeccionados com elementos modulares, vazados ou não, mas existem registros de estudos sobre concretos asfálticos porosos como o de Acioli (2005).

A vantagem do concreto permeável, em relação às outras formas de implantação de pavimentos permeáveis, é que o mesmo não só permite a infiltração, como pode atuar como reservatório. Dado o grande índice de vazios, o material, em conjunto com uma base de brita, pode armazenar uma grande quantidade de água, colaborando para a redução do pico inicial de muitos eventos de enxurradas (CONCRETE NETWORK, 2011).

Isso é uma característica importante, pois a eficiência da maioria dos demais pavimentos permeáveis depende da capacidade de infiltração do solo sobre o qual foi construído o pavimento.

Discutindo novas alternativas para as tradicionais técnicas de drenagem, Azzout et. al. (1994) também destacam a possibilidade de uso de pavimentos permeáveis, e apontam algumas vantagens, tais como:

- a) As condições de pré-urbanização desses ambientes serão mantidas, no que se refere ao escoamento superficial;
- b) Em âmbito de custos de implantação, os sistemas alternativos terão custos inferiores em comparação aos sistemas tradicionais, ou oferecerão uma proteção superior contra o risco de inundações, por um custo equivalente;
- c) Ambientes que adotarem essas técnicas poderão ser mais valorizados, por conta de uma integração estética.

Segundo Tucci (1997), os dispositivos podem ser mais onerosos na sua instalação, mas eles se pagam com o passar dos anos, sobretudo pela diminuição da necessidade de construção de obras de drenagem como drenos e tubulações.

Esse panorama começa a mudar e a opção por usar pavimentos permeáveis está se tornando cada vez mais atraente para autoridades municipais, pois seu uso favorece a percolação das águas pluviais para o solo, recarregando os lençóis subterrâneos e diminuindo a necessidade de sistemas de drenagem de grande capacidade, tais como piscinões, bombas e tubulações de drenagem. Desta forma se pode gerar uma redução do pico das cheias,

diminuindo a ocorrência de inundações e, conseqüentemente, dos transtornos aos veículos e à população (TUCCI, 2001).

3. CONCRETO PERMEÁVEL

Para reverter o cenário do impacto ambiental que a impermeabilização urbana acarreta ao meio ambiente, tanto direta como indiretamente, é necessária a adoção de tecnologias mais limpas, que permitam uma maior infiltração da água pluvial, tal como os pavimentos de concreto permeável. Este capítulo apresenta uma revisão dos aspectos gerais sobre a utilização do concreto permeável, voltada para a realidade brasileira.

3.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

Segundo Francis (1965, apud ACI, 2006, p.3), o concreto permeável já tem sido usado no processo de construção desde a metade do século 19. De fato, países europeus já o usaram, de diversas maneiras: em casas, edifícios, painéis pré-fabricados e blocos curados.

O boletim ACI 522R (ACI, 2006) fez uma útil coletânea e análise dos trabalhos sobre o tema, onde pode ser constatado que o primeiro registro do uso de concreto poroso ocorreu em 1852, quando o mesmo foi utilizado na construção de duas casas do Reino Unido. Segundo os registros, esse tipo de concreto consistia apenas de agregado graúdo e cimento e não foi novamente mencionado na literatura até 1923, quando um grupo de 50 casas de dois pisos foi construído usando agregado à base de clínquer, em Edimburgo, na Escócia.

Durante a década de 30 a “*Scottish Special Housing Association Limited*” adotou o uso do concreto permeável para a construção de residências, e em paredes por ser um concreto leve para o isolamento térmico. Por volta de 1942, o concreto permeável já tinha sido usado no Reino Unido para a construção de mais de 900 casas, devido as suas boas propriedades térmicas e baixo custo.

A adaptação resultante da Segunda Guerra Mundial, entre 1939 e 1945, gerou outra onda de uso de concreto permeável, pois deixou quase toda a Europa com uma grande necessidade de moradias, o que encorajou o emprego de métodos de construção simples e de baixo custo, que nunca tinham sido antes usados. Dentre estes métodos destacou-se o uso do concreto permeável, Malhotra (1976, apud ACI522R, 2006, p.3), argumenta que a principal vantagem associada ao uso desse material era o menor consumo de cimento, em relação ao concreto convencional associado a eventuais vantagens no custo de execução, quando a mão-de-obra era escassa e dispendiosa.

O concreto permeável foi também utilizado extensivamente em prédios industriais,

públicos e domésticos, onde se desejava ter um melhor isolamento térmico, sem grande acréscimo de peso. Devido a suas boas propriedades foi empregado em áreas do Círculo Ártico, onde o uso de materiais tradicionais de construção se mostrou impraticável devido aos altos custos no transporte dos tijolos, aos perigos de incêndios com a madeira, e às baixas propriedades de isolamento térmico do concreto simples (MALHOTRA, 1976, apud ACI522R, 2006, p.3).

No Canadá, o concreto permeável foi primeiramente utilizado no ano de 1960, na construção de algumas casas, em Toronto. Esse tipo de material foi também usado como base não- estrutural do “*Federal Building*”, localizado em Ottawa (ACI, 2006). Segundo Ghafoori (1995), os EUA só passaram a usar o concreto permeável na década de 70.

À medida que o desenvolvimento urbano avançava, maior era a impermeabilização do solo. Isto acabou promovendo um aumento na intensidade das enxurradas urbanas e, conseqüentemente, um incremento no número e gravidade das inundações. Segundo Mulligan (2005), o concreto permeável começou a ser utilizado nos EUA, com a finalidade de incrementar a permeabilidade de zonas urbanizadas, nos Estados da Flórida, Utah e Novo México.

Os bons resultados obtidos fizeram com que a tecnologia rapidamente se espalhasse para outros Estados, tais como a Califórnia, Illinois, Oklahoma, e Winsconsin. O crescente interesse resultou na disseminação de pequenos fornecedores do material e na fundação de uma associação, a NPCA (*National Pervious Concrete Association*). O *American Concrete Institute* (ACI) instituiu uma competição anual na qual estimula estudantes de graduação a produzir concretos permeáveis, simples ou com adição de fibras, buscando disseminar a tecnologia.

Os mesmos autores afirmam que a disseminação da técnica traz novas experiências nos Estados Unidos, Chile e Japão. Verifica-se que o interesse por pavimentos permeáveis em geral, e pelo concreto permeável, em particular, foi sendo disseminada e a comunidade científica internacional passou a estudar de maneira mais aprofundada este material, com o objetivo de caracterizá-lo e normalizá-lo de maneira mais adequada.

Em âmbito nacional, ainda são escassas as pesquisas e as referências sobre concreto permeável, embora esse tipo de concreto seja empregado há algumas décadas na Europa e Estados Unidos. Adicionalmente, existe uma grande lacuna na questão referente à normalização, sendo que nesse contexto, a *International Standardisation Organization* (ISO) decidiu, em junho de 2011, criar um grupo ad-hoc, com especialistas do Brasil, Coréia, China, Estados Unidos e Japão para discutir a formulação de normas para esse material.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL

O pavimento permeável é caracterizado por possuir elevada porosidade e boa permeabilidade, dependendo da sua composição. Devido a essa capacidade de deixar a água infiltrar através de sua estrutura porosa, a utilização dessas estruturas, quando corretamente projetadas e implantadas, podem influenciar significativamente nas vazões de pico que ocorrem durante eventos de chuva em determinado local (BETEZIN, 2003).

Polastre e Santos (2006) mencionam que o concreto deve possuir um alto índice de vazios interligados, garantindo assim a permeabilidade do concreto. Utilizado com pouca ou nenhuma porção de areia na sua composição, assim é permitido a percolação de grande quantidade de fluido.

Segundo Henderson et al. (2009), ao se reduzir a quantidade de agregado miúdo ou simplesmente eliminá-lo da mistura de concreto, o índice de vazios pode aumentar para valores entre 15 a 25%. Dessa maneira, a água proveniente das precipitações poderá percolar por meio dos poros da placa de concreto, diminuindo consideravelmente a quantidade de escoamento superficial das águas pluviais.

Quando o concreto permeável é utilizado em pavimentação externa, a água da chuva pode infiltrar diretamente no solo, diminuindo a vazão que segue para o sistema de drenagem urbano.

A sua adoção também contribui para a manutenção dos aquíferos subterrâneos e à redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial dessas águas. Por permitir a infiltração natural das águas pluviais, ele acaba contribuindo para um uso mais eficiente do solo, pois não são mais necessárias obras de drenagem, como pontos de retenção, valas, tubulações e outros mais.

O concreto permeável possui outros pontos positivos, destacados por Polastre e Santos (2006), tais como:

- a. Proporcionar um menor custo durante o seu ciclo de vida;
- b. Absorver menos radiação solar e facilitar a sobrevivência da arborização em áreas pavimentadas, por permitir a chegada de água e ar até as raízes;
- c. Colaborar para reduzir o problema das enxurradas urbanas, que acabam levando uma enorme quantidade de resíduos e poluentes aos corpos de água.

Com o correto dimensionamento e execução, o seu grau de permeabilidade é suficiente

para permitir a passagem de todo o fluxo precipitado na maioria dos eventos de chuva, praticamente anulando o escoamento superficial.

Segundo Dellate e Clearly (2006), existem três tipos de concretos permeáveis que podem ser caracterizados pelo nível de resistência e permeabilidade.

- a) O primeiro, conhecido como concreto permeável hidráulico, é um material com baixa resistência mecânica e elevada permeabilidade, utilizado para aplicações não estruturais;
- b) O concreto permeável normal possui resistência e permeabilidade intermediárias, e pode ser utilizado para estacionamentos e calçadas, sendo representado por uma mistura sem adição de agregado miúdo;
- c) Por fim, existe o concreto permeável estrutural, que possui elevada resistência mecânica e baixa permeabilidade, sendo caracterizado pela adição de materiais de granulometria reduzida na mistura. Este tipo pode ser utilizado em estacionamentos, ruas e avenidas que possuam tráfego de veículos pesados.

Para garantir a permeabilidade às águas pluviais, é muito importante que se formem vazios interligados, essencial para a caracterização do concreto permeável. Por essa razão, na maioria das misturas, não se utiliza agregado miúdo (areia), sendo o concreto confeccionado apenas com água, cimento e agregado graúdo, enquadrando-se assim com brita 0 ou brita 1 (BATEZINI, 2013).

Nesse sentido, o resultado se dá em um material conglomerado, formado por partículas de agregado graúdo recobertas com uma camada razoavelmente espessa de cimento e água. Em alguns casos usam-se pequenas quantidades de areia para aumentar o volume da camada de recobrimento, sem aumentar o custo. Ao utilizar essa estratégia geralmente se obtém um material com um índice de vazios entre 15 a 25%, e capacidade de percolação na ordem de 200 l/m²/min (ACI, 2006), como bem exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Amostra de uma placa de concreto permeável.



Fonte: UFRGS - Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico (2018)

A mistura composta por mais agregados miúdos, resulta em uma porosidade e permeabilidades inferiores, podendo comprometer as suas propriedades hidráulicas (MONTES E HASELBACH, 2006).

A capacidade de percolação das águas pluviais diretamente no solo pelo material traz a possibilidade de, ao optar pela utilização do concreto permeável, seja repensada a necessidade de grandes obras de drenagem e de grande impacto. Em um ambiente urbano, isso representa um ganho ambiental e econômico, elevando o valor da terra. Huffman (2005) considera que um concreto permeável adequadamente dosado deve apresentar baixa densidade, ser permeável e apresentar boa capacidade estrutural.

O concreto permeável tem a sua densidade influenciada, diretamente, pelas propriedades e proporções dos materiais utilizados e na metodologia de compactação usada na sua aplicação. Em geral, encontram-se densidades na ordem de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³ e índices de vazios de 15 a 25% (TENNIS, 2004).

Quanto à permeabilidade, cabe destacar as pesquisas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, reportadas por Araújo et. al. (1999), que avaliaram a eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. Percebeu-se nos testes que as superfícies impermeáveis tipicamente usadas na pavimentação urbana, com uso de asfalto, placas de concreto e pedras, acabaram gerando um escoamento superficial 44% maior que outras superfícies, como o solo compactado.

Em áreas semipermeáveis, formadas por pavimentos permeáveis com materiais

intertravados como paralelepípedos, foi registrado um nível de escoamento inferior ao das áreas impermeáveis, mas ainda 11 a 22% superior ao verificado em solos compactados (HOLTZ, 2011). Quando se usou o concreto permeável praticamente não se demonstrou escoamento superficial. Isso demonstra que essa tecnologia pode de fato ajudar a mitigar as enxurradas, revertendo, pelo menos em parte, o quadro problemático associado com a alta impermeabilização do solo.

Segundo Holtz (2011), taxas de fluxo típicas de passagem de água através do concreto permeável são da ordem de 120 l/m²/min (2 mm/s) a 320 l/m²/min (5,4 mm/s), valores superiores à capacidade de infiltração da maioria dos solos. O que justifica a efetiva capacidade de infiltração vai ser dada através do solo. O autor reforça que mesmo em solos pouco permeáveis, o uso do concreto permeável, sobre uma camada de assentamento de brita, permite gerar uma capacidade de retenção e reduzir a quantidade de água que escoam superficialmente, especialmente em eventos de chuva intensa e de curta duração, que favorecem a ocorrência de inundações.

Fazendo o uso do concreto permeável, de forma a reduzir ou retardar a onda de cheia, os impactos urbanos são menores, Tucci (2006), ressalva constantemente que em um cenário urbano, há grande volume de água escoado por uma área permeável inferior à natural.

Segundo o ACI (2006), as misturas de concreto permeável apresentam resultados diretamente ligados ao índice de vazios e ao traço, apresentando normalmente resistências de compressão na escala de 3,5 MPa a 28 MPa. Polastre e Santos (2006) citam que em média se obtém resistências da ordem de 25 MPa, ou seja, apesar do elevado índice de vazios, o contato entre os agregados graúdos que compõem o esqueleto do concreto permeável garante uma resistência razoável.

A pasta ou argamassa de cimento, usada em pequenas quantidades, garante que os agregados permaneçam unidos, evitando o desmoronamento e dificultando a perda de material por abrasão.

3.2.1 Vantagens econômicas

A Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* - EPA) dos Estados Unidos, requer que os proprietários de novos pátios, ou de pátios recém reconstruídos, com 0,4 hectares ou maiores, tenham um sistema para tratamento de toda a água pluvial, antes que esta deixe o pátio da empresa por escoamento. Para viabilizar essa medida, cerca de 10 a 20% da área dos pátios são destinadas para a construção de estruturas de retenção/detenção das

águas pluviais.

Ao permitir o reabastecimento hídrico, o uso do concreto permeável ajuda a dispensar ou reduzir consideravelmente os sistemas de irrigação. Somado a isso, a sua aplicação reduz a necessidade de criar grandes poços de retenção, uma vez que o pavimento propriamente dito já age como uma área de retenção. Tal fato leva a custos menores de mão-de-obra, construção e manutenção.

Em contrapartida ao alto investimento, em termos de espaço e custos, da implementação de sistemas de tratamento de águas pluviais, os pavimentos de concreto permeável podem ser utilizados tanto como elementos de pavimentação quanto de drenagem, o que aumenta seu valor econômico.

Além disso, o concreto permeável pode ajudar a reduzir custos (Huffman, 2005), já que na medida em que as regulamentações e custos associados à gestão de águas pluviais crescerem, as soluções podem se tornar muito dispendiosas para os proprietários, seja pela cobrança de taxas, seja pelos altos custos de instalação de estruturas de retenção e drenagem de larga escala.

Essa equação pode se tornar ainda mais favorável caso, como já acontece nos Estados Unidos de forma experimental, o poder público comece a implementar taxas de cobrança sobre a geração de águas pluviais, calculadas em função do total de área impermeabilizadas (Huffman, 2005).

Uma vantagem econômica da produção de concreto permeável é que o mesmo tem baixa densidade e pode ser executado *in loco*, com materiais locais, evitando custos de transporte elevados. Além disso, cabe salientar que o concreto permeável pode ser fabricado com baixa tecnologia e mão-de-obra não especializada, se a mesma receber um treinamento básico adequado (HOLTZ, 2011).

Ao optar pelo concreto permeável há a possibilidade de auxiliar economias locais ao usar mão-de-obra e materiais da região, uma vez que, esse material não necessita de grandes cuidados de cura e tem tempo de início de pega reduzido. Assim, o seu uso em construções não acarreta grande tempo de execução ou consumo de energia (HUFFMANN, 2005).

Ademais, os pavimentos de concreto permeável podem ter um custo ao longo da vida útil menor que os pavimentos asfálticos tradicionais. Apesar dos custos iniciais de instalação do concreto permeável serem relativamente altos, o mesmo compensa o investimento ao longo do tempo, devido a sua maior durabilidade. Os pavimentos de concreto requerem poucos reparos, em relação ao asfalto, e possuem uma longevidade relativamente alta (*National Ready Mixed Concrete Association*, 2010).

3.2.2 Propriedades e valores na aplicação

Quanto aos benefícios estruturais, a *National Ready Mixed Concrete Association* (2010) menciona que o concreto permeável, por apresentar pouca ou nenhuma quantidade de agregados miúdos, possui uma textura única na superfície. O concreto permeável é composto de agregados angulares e circulares, como o cascalho e a brita, e uma vez que os mesmos encontram-se expostos, acabam por melhorar o poder de tração dos veículos e prevenir derrapagens. Essa superfície de textura é especialmente importante durante as condições mais severas e perigosas, como chuva e neve.

O tempo de concretagem é tipicamente reduzido para o concreto permeável, que normalmente acontece em uma hora entre a mistura e o término da concretagem, porque ele é um concreto que perde água com muita rapidez. Entretanto, isto pode ser controlado usando retardadores e estabilizadores de hidratação que estendem a concretagem em 1,5 horas, dependendo da dosagem utilizada (POLASTRE E SANTOS, 2006).

A densidade do concreto permeável depende das propriedades e das proporções dos materiais usados e também dos procedimentos de compactação. Densidades locais na ordem dos 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³ são comuns e figuram no alto índice dos concretos mais leves (HOLTZ, 2011).

O índice de permeabilidade do concreto permeável depende dos materiais e das operações de concretagem (*National Ready Mixed Concrete Association*, 2010). Um pavimento com 125 mm e 20% de espaços vazios poderá estocar 25 mm de água pluvial, o que cobre a grande maioria dos eventos chuvosos dos EUA. Quando usado um pavimento de 150 mm de cascalho ou de brita, a capacidade de estocagem aumenta em 75 mm de precipitação.

As quantidades de água e de ligante hidráulico empregadas na composição do concreto permeável são cuidadosamente controladas com a finalidade de se obter uma pasta que forme uma capa espessa ao redor das partículas dos agregados. A mistura deve possuir pequena ou nula quantidade de agregado miúdo a fim de se obter um material de elevado índice de vazios, que, com auxílio da interconectividade dos seus vazios, apresentará boa permeabilidade (BETEZIN, 2013).

Segundo Delatte et al. (2009), a condutividade hidráulica característica do concreto permeável, varia normalmente entre 0,1 e 0,9 cm/s, embora este valor possa ser muito diferente, a depender principalmente da composição do concreto e da qualidade do processo executivo. Condutividade hidráulica (ou taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade) é um dos

parâmetros mais importantes do concreto permeável e pode ser definida como a taxa de infiltração da água através de sua estrutura. Valores típicos de condutividade hidráulica de concretos permeáveis para revestimento de pavimentos variam entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s (TENNIS et al., 2004). Bean et al. (2007) determinaram valores de condutividade hidráulica em campo variando de 0,07 cm/s a 0,77 cm/s.

O concreto permeável não é tão afetado quanto o concreto convencional com relação à secagem e retração. Os valores de retração dependem do traço e dos seus materiais constituintes, mas valores da ordem de metade da retração observada nas misturas convencionais foram reportados (*National Ready Mixed Concrete Association*, 2010). A baixa quantidade de pasta ou argamassa (quando se usa uma pequena parcela de areia na mistura) é a principal explicação para tal fato.

É interessante notar que aproximadamente 50% a 80% da retração verificada no concreto permeável ocorre nos primeiros 10 dias, comparado com um montante de 20% a 30% no mesmo período, para o concreto convencional. Por causa da baixa retração e da textura irregular, muitos concretos permeáveis são feitos sem controle de juntas, o que não é recomendado, pois podem acontecer fissurações aleatórias (*National Ready Mixed Concrete Association*, 2010).

Devido as baixas resistências à compressão dos elementos de concreto permeável, Araújo et al. (1999) sugerem que o uso desse tipo de pavimentação seja limitado a locais com tráfego leve ou pouco intenso, como estacionamentos. Isso acaba representando um ponto positivo para os donos de empresas, que precisam, por lei, destinar cerca de 20% da área para a construção de tubulações de drenagem para as águas pluviais.

A relação água cimento tem menor efeito nas propriedades do concreto poroso (HUANG et al, 2009). Esta é, na realidade, uma variável que depende da quantidade e tipo de cimento e da granulometria do agregado. Utiliza-se como critério para determinar esse valor a quantidade de água em que a pasta adquire brilho metálico. Geralmente esse valor está entre 0,24 e 0,45 (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

Lian e Zhuge (2010) estudaram relações água/cimento entre 0,30 e 0,38 e concluíram que para relação água/cimento maior que 0,34 a resistência à compressão diminui e a permeabilidade aumenta. Os melhores resultados foram obtidos a 0,32 e não se recomenda relação água-cimento menor que 0,30.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO

O concreto permeável é produzido com os mesmos materiais utilizados na composição do concreto de cimento Portland convencional (CCP), com a diferença de que a quantidade de agregados miúdos é muito reduzida, ou, na grande maioria das vezes, nula (ACI, 2006; TENNIS et al., 2004). As proporções utilizadas nas misturas de concreto permeável são geralmente muito mais restritas com relação às misturas de CCP, sendo que normalmente é necessário um controle visual rigoroso na sua produção para que se consigam obter as características desejadas no produto final (TENNIS et al., 2004).

Segundo Betezin (2013), as proporções dos materiais variam dependendo dos tipos de insumos disponíveis no local de uso, sendo que o correto é sempre realizar experimentos e procedimentos de dosagem em laboratório, que servirão de subsídio para a melhor definição de tais proporções (dosagem racional).

A relação cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento a ser utilizado na produção de concretos permeáveis são os dois fatores mais importantes da mistura, que afetam diretamente as características mecânicas do material (ACI, 2006). Na Tabela 1 são apresentadas faixas típicas de consumo e proporções de materiais utilizados nas misturas de concreto permeável.

Tabela 1 - Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável .

Materiais	Unidade	Consumo/Proporção
Ligante Hidráulico	(kg/m ³)	270 a 415
Agregado Graúdo	(kg/m ³)	1.190 a 1.700
Água/Cimento (a/c)	Relação em Massa	0,27 a 0,34
Cimento/Agregado	Relação em Massa	1:4 a 1:4,5
Agregado Miúdo/Agregado Graúdo	Relação em Massa	0 a 1:1

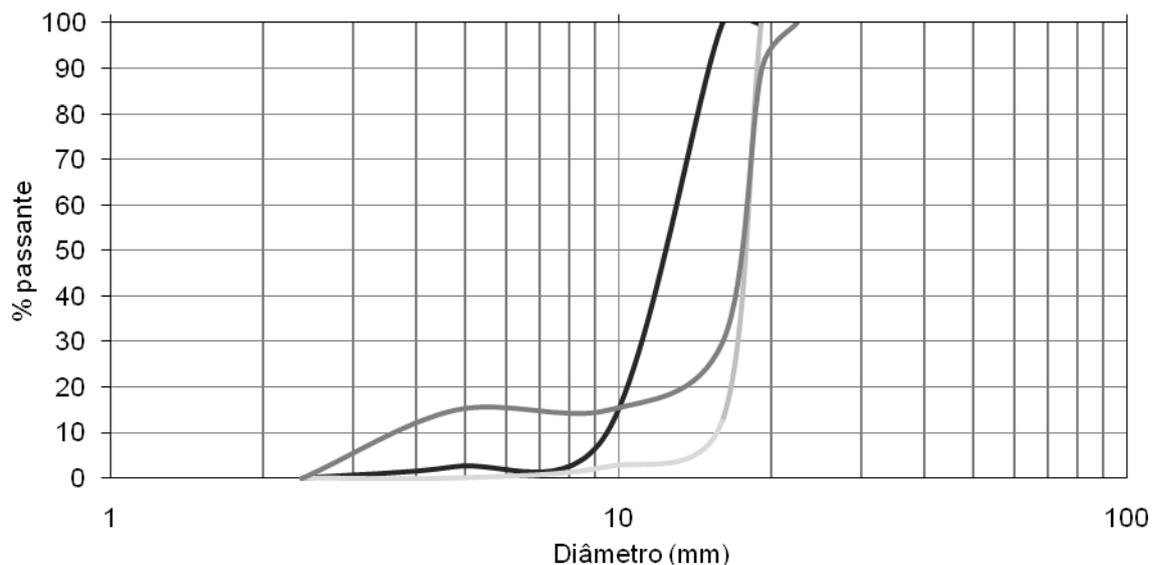
Fonte: Adaptado de Batezini (2013)

Alguns aditivos também são comuns os quais, segundo Batezini(2013), os materiais podem ser classificados como:

- a) Superplastificantes: São empregados com a finalidade de melhorar as características de trabalhabilidade e tempo de pega das misturas de concreto permeável;
- b) Aglomerantes: O principal ligante hidráulico utilizado como aglomerante em concretos permeáveis é o cimento Portland. Além deste, materiais suplementares como cinza volante, escória granulada de alto forno moída e sílica ativa, são também empregados com a finalidade de melhorar as características mecânicas do produto final. Cabe lembrar que as proporções com que esses aditivos são incorporados à mistura devem ser cuidadosamente observadas, uma vez que se deve garantir que o produto final possua vazios suficientes e boa condutividade hidráulica, parâmetro esse de suma importância para o correto funcionamento do sistema de pavimento permeável;
- c) Agregados: As curvas granulométricas de agregados utilizadas nas misturas são normalmente do tipo uniforme (diâmetro único), em que o diâmetro máximo utilizado é de 19 mm. Para as curvas descontínuas, com variação do diâmetro do agregado, são comumente utilizadas graduações variando de 19 mm a 4,8 mm, 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm (TENNIS et al., 2004).

Na Gráfico 2 são apresentadas três curvas granulométricas já empregadas na produção de concreto permeável, em que o diâmetro máximo de agregado utilizado é de 19 mm (LI, 2009).

Gráfico 2 - Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável.



Fonte: Adaptado de Li (2018)

d) Aditivos: Pela mesma razão que os aditivos químicos são empregados no CCP, são também incorporados nas misturas para produção de concreto permeável. Aditivos retardadores de pega são adicionados à mistura para controle do tempo de pega que, no caso do concreto permeável, ocorre muito rapidamente. Aditivos redutores de água também são utilizados, dependendo da relação a/c considerada (*PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT*, 2011).

3.3.1 Características no estado fresco

O concreto permeável no estado fresco é caracterizado por apresentar elevada consistência (baixa trabalhabilidade) quando comparado com o concreto convencional. O abatimento da mistura, normalmente, é menor que 20 mm (ACI, 2006; TENNIS et al., 2004). São raros os casos em que se emprega abatimento superior a 50 mm.

Em função da sua baixa consistência, é incomum a utilização do ensaio de abatimento de tronco de cone como método de controle na produção de misturas de concreto permeável. Ensaio de massa unitária e controle visual são os métodos mais empregados nesse processo. A massa unitária desse material representa, em média, cerca de 70% da massa unitária de concretos convencionais (*PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT*, 2011).

Em função das suas características diferenciadas, os procedimentos padrão para produção de corpos de prova e realização de ensaios em laboratório utilizados para o concreto convencional não se aplicariam, sem prova prévia, para o concreto permeável. No Brasil, ainda não existem especificações ou métodos referentes ao estudo em laboratório deste tipo de material.

Entre outras características, no estado fresco o concreto poroso apresenta *slump* zero e não é liquefeito, (ACI 522R-10). Segundo Taturce (1946) para concretos de consistência seca o abatimento pode variar de 0 a 20 mm.

3.3.2 Características no estado endurecido

O endurecimento do concreto resulta na coesão desenvolvida entre os cristais que se formam na pasta de cimento (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990). No estado endurecido o concreto poroso deve apresentar quantidade de vazios de 15 a 35 % e resistência a compressão simples variando entre 2,8 e 28 MPa (ACI 522R-10).

Segundo o DNIT o concreto destinado para a execução de pavimentos rígidos deve ter resistência à tração na flexão de 4,5 MPa, e entre outras características apresentar menor variação volumétrica, menor suscetibilidade a fissura e bom desempenho em relação aos esforços do tráfego e a ação do meio ambiente.

A massa específica e o índice de vazios característicos do concreto permeável variam em função da proporção relativa de cada material constituinte da mistura, bem como do procedimento de compactação empregado. As massas específicas aparentes do concreto permeável no estado fresco variam de 1.300 a 2.000 kg/m³ (TENNIS et al., 2004).

4. SUSTENTABILIDADE

Este capítulo aborda uma escolha de material do trabalho, visando a parâmetros ambientais, como a reutilização da cinza de madeira da indústria na elaboração de um dos traços, somando a funcionalidade do concreto permeável à sustentabilidade.

4.1 CINZA DE MADEIRA

Este trabalho tem como um dos objetivos analisar a viabilidade do reaproveitamento de resíduo de cinza de madeira proveniente do processo de combustão da indústria madeireira no concreto permeável. Os principais motivos para a decisão da cinza são a sustentabilidade e a característica de permeabilidade com baixa variação de resistência, visto que é notado em trabalhos que utilizam do material o aumento dessa propriedade, como Bennack (2016).

Maltz (2003), exibe que a geração de resíduos está principalmente relacionada às indústrias que, tem como forma mais comum de destinação final os aterros sanitários. Um dos resíduos gerados por diversos setores da economia é a cinza de madeira, na Figura 3, gerada pela combustão incompleta da madeira quando utilizada como fonte de energia, representada abaixo.

Figura 3- Cinza de Madeira com a queima incompleta.



Fonte: O Autor (2018)

Na indústria madeireira, também ocorre grande produção de resíduos, as cinzas, provenientes da queima da madeira em caldeiras, assim as florestas plantadas de eucalipto, pinus e demais espécies utilizadas para fins industriais representam uma importante cadeia produtiva no cenário brasileiro.

A questões econômicas e ambientais estão diretamente relacionadas às atividades industriais que, além de consumir recursos naturais, geram resíduos que podem sobrecarregar o meio ambiente (BRAGA, 2005).

O consumo nacional de lenha foi de 79,29 milhões de toneladas em 2013 (BEN, 2014), há a produção nacional de cinza da ordem de 3% (BORLINI et al., 2005), o que representa uma quantidade considerável de resíduo.

A reciclagem e a reutilização de resíduos pela indústria vêm se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos, já que o destino final da cinza, geralmente se dá em custo de transporte e aterro.

Uma alternativa apresentada para reduzir o impacto ambiental causado pela geração deste resíduo, seria sua incorporação em produtos da indústria da construção civil (BORLINI et al., 2005), área que consome significativa quantidade de energia e matérias-primas não renováveis.

A escolha de se trabalhar com a cinza em adição mineral ao concreto é por ser este um dos principais materiais da indústria da construção, apresentando grande potencial para absorver outros materiais como aglomerante, como adição, como finos ou como agregados (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Malhotra e Mehta (1996) os benefícios do uso de adições no cimento ou em concretos podem ser divididos em três categorias:

- Benefícios de engenharia: a incorporação de partículas finas ao concreto tende a melhorar a trabalhabilidade e reduzir a quantidade de água para alcançar a consistência desejada, com incremento de resistência, redução da permeabilidade e aumento da resistência a ataques químicos;
- Benefícios econômicos: dos materiais constituintes do concreto, o cimento Portland é o mais caro, sendo que as adições de resíduos ou subprodutos industriais ao concreto, reduzem a quantidade de cimento na mistura com conseqüente diminuição do custo do concreto;
- Benefícios ecológicos: diversos resíduos ou subprodutos utilizados como adições aos cimentos e concretos contêm em suas composições químicas substâncias poluentes,

tóxicas e patogênicas podendo ser nocivos ao meio se não forem dispostos de uma forma segura.

Em princípio, qualquer cinza, de origem industrial ou vegetal, predominantemente siliciosa, que possa ser produzida no estado amorfo e com finura adequada, pode ser utilizada como adição mineral (JOHN et al., 2003).

A substituição da areia natural por cinzas de fundo tem mostrado grande potencial de aproveitamento para produção de materiais cimentícios. A cinza de fundo tem sido utilizada como substituto de areia natural na produção de blocos de concretos e, em muitos países, usada como base na construção de rodovias (CHERIAF et al., 1999).

As cinzas de resíduos de madeira têm essencialmente na sua composição: CaO, SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, MgO, SO₃, TiO₂ e P₂O₅ (UDOEYO et al., 2006).

Relativamente à trabalhabilidade do concreto com recurso à adição de cinzas de madeira, estudos evidenciam a diminuição da trabalhabilidade com o aumento do teor de cinzas de madeira na dosagem do concreto (UDOEYO et al., 2006).

O uso de cinzas de madeira na dosagem do concreto, em percentagens dos 5% aos 30%, reduz o valor da resistência à compressão do concreto relativamente nos períodos de cura analisados (UDOEYO e DASHIBIL, 2002; ELINWA e EJEH, 2004; ELINWA e MAHMOOD, 2002; ABDULLAHI, 2006).

A tendência de redução da resistência à compressão se deve ao fato das partículas das cinzas de madeira atuarem essencialmente como material de enchimento e não como material ligante na matriz cimentícia (UDOEYO et al., 2006). Segundo Neville (1997) a massa específica aparente do agregado interfere na relação pasta/agregado, a porosidade, a permeabilidade e a absorção dos agregados.

5. METODOLOGIA

Este trabalho se trata de uma pesquisa experimental, ou seja, define-se como tal quando se determina um objeto de estudo. Para o presente modelo, o concreto permeável, foram selecionadas variáveis que seriam capazes de influenciá-lo (agregado graúdo e miúdo) e foram definidas as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto através dos ensaios normatizados.

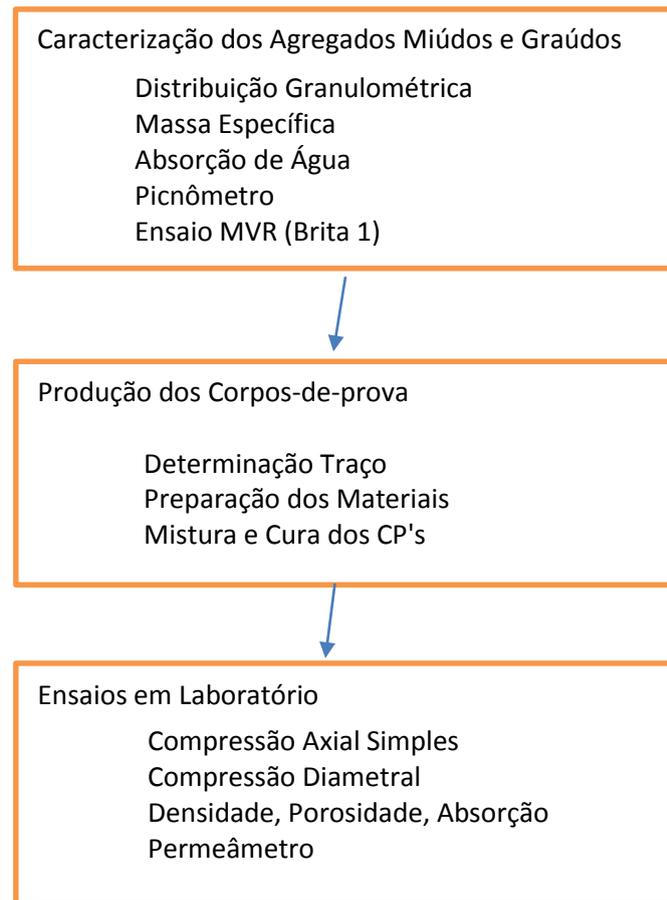
Neste caso, estudar a influência da variação do agregado miúdo ao concreto em relação às propriedades mecânicas e permeabilidade. Assim, no presente capítulo serão descritas todas as etapas experimentais realizadas para obtenção dos resultados finais, primeiramente comentando a respeito dos materiais utilizados, caracterizando os agregados miúdos e graúdos, o tipo de cimento e cinza de madeira, em seguida como foi definida a obtenção do traço e então os ensaios normatizados pela ABNT, como ensaios mecânicos de compressão, compressão diametral, absorção e permeabilidade.

5.1 FLUXOGRAMA

O fluxograma na Figura 4 a seguir é uma ferramenta fundamental para se conhecer o processo como um todo, assim, pode-se dividir todo o cronograma de atividades em três grandes núcleos.

O primeiro, visando a maior precisão possível, determinando de forma crucial o traço e os processos seguintes. Em seguida, a parte executiva do processo, em que toda a etapa foi elaborada no Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável da universidade. Por fim, os ensaios finais e resultados da pesquisa, em parceria com outras instituições.

Figura 4 – Fluxograma da pesquisa.



Fonte: O Autor (2018)

6. MATERIAIS

Para a seleção dos materiais, foram considerados a disponibilidade do material na universidade e a facilidade de obtenção no comércio na região de Joinville. Os materiais utilizados nesse trabalho foram:

- a) Brita 1, da pedra Briforte, em Curitiba, rocha origem gnaisse (Figura 5-a);
- b) Areia média, disposta em baias na universidade, origem Rudnick Minérios (Figura 5-b);
- c) Cimento CP II-Z-40, Cimento Composto com Pozolana 40MPa. Comercialmente por Cimento Obras Estruturais (Figura 5-c);
- d) Cinza de madeira (pinos), doação da indústria (Figura 5-d);
- e) Água, da rede municipal de Joinville (Figura 5-e).

Os materiais estão dispostos em sequência na Figura 5 abaixo.

Figura 5 – Materiais utilizados no traço



Fonte: O Autor (2018)

6.1 BRITA

A brita utilizada na pesquisa é de origem de Curitiba, da pedra Briforte, de origem gnaisse. Ao todo, foram utilizados 10 sacos de 20kg de brita 1, de massa bruta, para todas as etapas subsequentes, é importante ressaltar que toda a brita utilizada, em todos os processos, foram condicionadas por uma limpeza prévia.

As condições necessárias, demonstravam uma padronização da brita, sem finos e diâmetros indesejados, visto que ao adquirir o produto, há um volume considerável de material fora do diâmetro requerido pela norma, para caracterizar-se como brita 1, como exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo.

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

¹ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2009).

6.2 AREIA MÉDIA

É de extrema importância para a elaboração do traço e as etapas subsequentes, os valores de massa específica dos materiais, sendo eles elaborados em ensaios específicos na universidade.

A areia foi obtida por doação da Universidade Federal de Santa Catarina, distribuídas em baias, do lado externo dos laboratórios. Assim, exposta a umidade, procurou-se o cuidado de remover a umidade das amostras, para que não exista-se risco de interferência e falseamento nos resultados e relação água-cimento no final da mistura.

6.3 CIMENTO

O cimento Portland, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente, tendo como matérias-primas o calcário e a argila. A mistura formada é aquecida em um forno à temperatura de clinquerização (1450 °C) dando origem então ao clínquer, que após resfriado é finamente moído.

A fim de evitar a pega instantânea do cimento é adicionado o gesso, se este não for adicionado, o cimento ao entrar em contato com água endurece quase que instantaneamente, gerando trabalhabilidade. Algumas outras adições podem ser feitas também, como escórias de

alto forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos.

As escórias de alto forno tem a propriedade de ligante hidráulico muito resistente desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante a do clínquer, desta forma apresenta melhoria de algumas propriedades, como maior durabilidade e maior resistência final.

Os materiais pozolânicos, quando pulverizados em partículas muito finas, também passam a apresentar a propriedade de ligante hidráulico, porém de forma distinta. A reação acontece se, além da água, os materiais pozolânicos moídos em grãos finíssimos também forem colocados em presença de outro material (clínquer). Essa adição gera maior impermeabilidade (ABCP, 2002).

Por fim, os materiais carbonáticos servem também para tornar os concretos e as argamassas mais trabalháveis, porque os grãos ou partículas desses materiais moídos têm dimensões adequadas para se alojar entre os grãos ou partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como um verdadeiro lubrificante. Quando presentes no cimento são conhecidos como filer calcário (ABCP, 2002).

É válido mostrar através da Tabela 3 os diferentes tipos de cimento em função das possíveis adições comentadas e suas composições em massa. Visando a maior acessibilidade entre os materiais envolvidos na pesquisa, o cimento CP II-Z-40 (Cimento Portland Composto com Pozolana 40Mpa) foi escolhido, visto que o cimento CPV-ARI é obtido comercialmente na região de Joinville apenas sob encomenda e agendamentos. Nesse sentido, a norma brasileira atendida é a NBR 11578, que foi cancelada e atualizada para ABNT NBR 16697:2018.

Tabela 3 – Tipos de cimentos e suas composições em massa.

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clíquer + Gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material Carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

Fonte: Adaptado de ABCP (2002).

6.4 CINZA DE MADEIRA

A cinza de madeira, é proveniente da indústria de painéis e produtos de madeira, situada no Paraná, foi disponibilizada para a pesquisa de forma gratuita. A pesquisa foi limitada ao estudo da cinza de madeira resultante da queima incompleta de lenha de Pinus.

As características físicas da cinza de madeira foram conferidas com os indicies físicos de absorção de água e massa específica obtidos a partir dos estudos de Bennack (2016). Tendo em vista que o resíduo em questão é proveniente da mesma empresa, os valores de massa de específica e absorção de água foram tomados como base. Para melhor visualização, as propriedades estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades e características da cinza de madeira, obtidas por Bennack (2016).

Cinza de Madeira			
Massa específica (g/cm ³)	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Absorção de Água (%)
2,78	2,36	0,97	32,5

Fonte: Adaptado de Bennack (2016)

6.5 ÁGUA

A qualidade da água é importante porque suas impurezas podem interferir na pega do cimento, afetar negativamente na resistência do concreto ou causar manchas em sua superfície, podendo ainda levar à corrosão das armaduras. Se a água potável contiver alta concentração de sódio e potássio, existe o risco de ocorrência de reação álcali-agregado. Todavia, por via de regra, água com pH entre 6,0 e 8,0 sem sabor salino ou salobro é adequada ao uso, e coloração escura ou odor não necessariamente implicam em dizer que existem substâncias deletérias (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A NBR 15900-1 (ABNT, 2009b) especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo do concreto. A Tabela 5 apresenta um resumo dos limites máximos aceitáveis das principais impurezas contidas na água de amassamento.

Tabela 5 – Tipos de Cimentos e suas composições em massa.

IMPUREZA	TEOR MÁXIMO (mg·L ⁻¹)	PROCEDIMENTO DE ENSAIO
Íon Cloreto		NBR 15900-6
Concreto protendido	500	
Concreto armado	1000	
Concreto simples (sem armadura)	4500	
Sulfato	2000	NBR 15900-7
Álcalis	1500	NBR 15900-9
Material sólido	50000	NBR 15900-3

Fonte: Adaptado NBR 15900-1 (ABNT, 2009b).

A quantidade de água adicionada à mistura cimentícia também pode ser prejudicial, o excesso de água é negativo, visto que parte da água é consumida na mistura e outra parte é evaporada desde os primeiros dias de cura, gerando poros no concreto.

Hummel (1966, p.23, tradução nossa) cita: "O grau de compactação ou o volume de poros do concreto se reflete em certo modo nas resistências à compressão e à flexo-tração, na absorção de água e na estabilidade contra o congelamento, em sua durabilidade, assim como nos processos de retração e dilatação". Todavia, pouca água não permite uma boa trabalhabilidade, logo, o traço é baseado nas características do concreto que se deseja, sabendo que à melhoraria de determinada propriedade influencia outras.

6.6 TRAÇOS DE DOSAGEM REFERÊNCIA, COM AREIA E COM CINZA

O método de dosagem escolhido para o trabalho foi o método CIENTEC, o qual, segundo Recena (2011), tem os valores determinados como média de ensaios realizados em laboratório para os materiais da região do estado do Rio Grande do Sul, tendo como restrições experiências prévias para os materiais de outras regiões com o intuito de consubstanciar correções que certamente se farão necessárias.

Para o cálculo do traço referência, foi utilizado as propriedades dos agregados, obtidas com a granulometria, picnômetro e ensaio MVR, somada aos conhecimentos da fundamentação teórica.

O traço referência abrange uma grande relação dos materiais e conhecimentos da fundamentação, ele engloba o concreto permeável sem utilização de agregado miúdo. Sendo assim, apenas cimento, brita e água.

A brita aceitável para o concreto permeável pode ser a brita 0 ou brita 1, como o presente trabalho busca um concreto funcional e não estrutural, optou-se por brita 1, visto que

um diâmetro maior acarreta em um maior nível de vazios decorrente da irregularidade da brita e sua lamelaridade. A relação cimento e agregado em pesquisas engloba um intervalo de 1:4; 1:4,5 e 1:5.

A relação água cimento foi mantida em todos os traços, seguindo a pesquisa de Lian e Zhuge (2010), em que foi estudada a melhor relação água/cimento para o concreto permeável. Notou-se que há uma curva ótima para a relação, sendo que o intervalo da pesquisa foi de 0,30 até 0,38, e constou-se a partir de 0,34 a resistência é comprometida, os melhores resultados foram obtidos com 0,32, e não aconselhou-se uma relação menor do que 0,30.

Para a elaboração de cada uma das formulações, foi utilizado o método CIENTEC, considerando os materiais em massa, sendo assim o traço referência T1 foi estabelecido como 1:0,0:4,0:0,32 (cimento:agregado miúdo:agregado graúdo:água), a partir dos parâmetros descritos acima.

Para a dosagem do T2, traço com adição de areia, optou-se pela substituição em massa de 10% do agregado graúdo em agregado miúdo, respeitando assim os limites citados anteriormente por Batezini (2013). O T2 fica estabelecido assim, com a dosagem de 1:0,4:3,6:0,32 (cimento:agregado miúdo:agregado graúdo:água), procurando manter as propriedades do concreto permeável, em frente a sua permeabilidade e funcionalidade, assim, sendo realizada uma substituição baixa de agregado, somada a um acréscimo de resistência à tração e à compressão significativas.

Para a substituição de cinza em T3, foi mantido o traço do T2, buscando assim a substituição em massa da areia pela cinza de madeira. Tal decisão acarreta em pontos positivos e negativos, em quesito de resistência à compressão e à tração, é esperado valores similares ao T2, sendo que a cinza em estudos anteriores obteve valores de ganho significativos em substituições em até 15%. Por outro lado, a densidade da cinza sendo menor do que a areia média, é esperado um volume maior de material para obtenção da mesma massa.

A Tabela 6 abaixo correlaciona os traços, exibindo também toda a massa de materiais utilizados para a elaboração de um molde cilíndrico de 10x20cm. O número de amostras abrange 8 volumes de CP's cilíndricos e 1 CP para o ensaio de permeabilidade, o CP para o ensaio de permeabilidade buscou abranger o volume de dois CP's de ensaio, em busca de uma altura após a compactação da amostra na ordem de 38 a 40cm, assim, para a coluna de amostras, foi designado um total de 10, para cada dosagem.

Tabela 6 - Traços da pesquisa, número de amostras e materiais.

FORMULAÇÕES									
T1 - REFERÊNCIA									
Nº Amostras T1	Materiais (g)	CP II-Z40		Areia		Brita 1		Água	
		1,00	(g)	0,00	(g)	4,00	(g)	0,32	(g)
10	3800	760		0,00		3040		243,2	
T2 - 10% AREIA MÉDIA									
Nº Amostras T2	Materiais (g)	CP II-Z-40		Areia		Brita 1		Água	
		1,00	(g)	0,40	(g)	3,60	(g)	0,32	(g)
10	3800	760,00		304,00		2736,00		243,20	
T3 - 10% CINZA DE MADEIRA									
Nº Amostras T3	Materiais (g)	CP II-Z-40		Cinza		Brita 1		Água	
		0,00	(g)	0,40	(g)	3,60	(g)	0,32	(g)
10	3800	760,00		304,00		2736,00		243,20	

Fonte: O Autor (2018)

7. MÉTODOS

Para este trabalho, a fim de analisar, quantificar e comparar os corpos-de-prova (CP's) de concreto com diferentes formulações foram feitos ensaios que utilizam as normativas da ABNT e ASTM. A seguir serão apresentadas as formulações, o processo de execução dos CP's e cada ensaio realizado.

7.1 PROPRIEDADES DA BRITA

De forma manual, foram peneiradas todas os 200kg ensacados da brita, utilizando peneira as de 19mm, 12,5mm, tampa e o fundo. As peneiras foram agitadas manualmente, utilizando amostras entre 0,5 e 0,7kg por agitação, para garantir uma maior confiabilidade.

Com o procedimento concluído, foram eliminados 35,8kg de material, que não atendiam o diâmetro mínimo e máximo característicos da brita 1, assim, todas as amostras requeridas terão fidelidade de diâmetro no trabalho.

Na etapa seguinte, lavou-se toda a amostra, com uma peneira de garimpo, em parcelas de 2 a 3kg. Em paralelo a lavagem com mangueira, era agitada a peneira também, procurando eliminar materiais finos ainda presentes em cada brita, um pó de brita considerável no gnaisse.

Em sequência, o destino final da brita foi a estufa, em que foram alocadas em bandejas, ocupadas apenas até tampar o fundo, sem arranjos verticais de montes de brita, buscando uma homogeneização na secagem da brita, assim, uma maior área superficial a ser exposta por transferência de calor da estufa.

A amostra permaneceu ao mínimo por 24 horas na estufa, sempre mantida a 105° C, para assim, seguir para a etapa final, que era a estocagem da brita em baldes vedados, para a mistura na betoneira.

7.1.1 Ensaio MVR para densidade real da brita

A densidade real (D_r) da brita 1 foi obtidas através do ensaio de densidade máxima teórica real da mistura (MVR), regido pela norma DNER-ME 117/94, elaborado no laboratório de pavimentação da universidade.

O método do ensaio consiste inicialmente em adicionar a mistura da amostra em um picnômetro com rolha (peso e volume conhecido), preenchido com aproximadamente 800ml de

água. Após adicionada a mistura, deve-se pesar novamente o conjunto (picnômetro + rolha), e na sequência adicionar água até a borda do picnômetro, retirar o excesso de ar e levar à vácuo por 1 hora. Para finalizar, realiza-se a última pesagem do conjunto após o vácuo.

Com os valores de todas as pesagens, a partir equação abaixo foi obtido o valor da densidade real (D_r) para a amostra. A Figura 6 em sequência, exemplifica os equipamentos

Equação 1 - Densidade real da brita 1 pelo ensaio MVR.

$$D_r = \frac{(c - a)}{(b - a) - (d - c)}$$

Onde:

D_r = Densidade real da mistura (g/cm³);

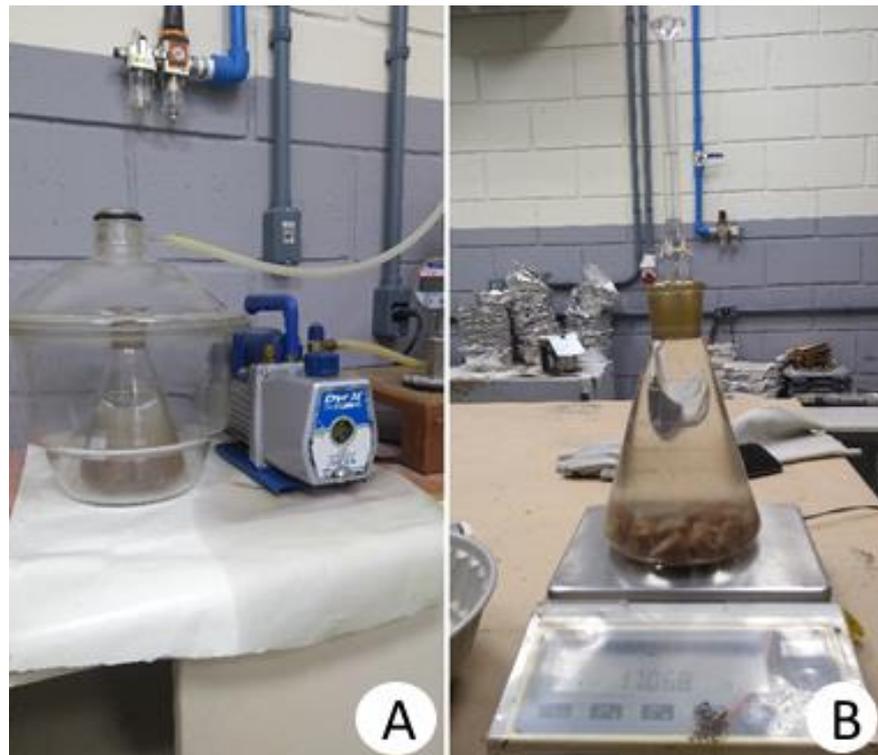
a = Massa do picnômetro vazio (tara);

b = Massa do picnômetro cheio de água até o menisco;

c = massa do picnômetro contendo a amostra;

d = Massa do picnômetro contendo a amostra e cheio de água até o menisco.

Figura 6 - Bomba de vácuo (a) e pesagem com picnômetro do ensaio MVR (b).



Fonte: O Autor (2018)

7.2 PROPRIEDADES AREIA MÉDIA

O procedimento de secagem das areias foi por transferência de calor por radiação e convecção no interior da estufa, todas sempre mantidas a 105°C por 24 horas ao mínimo. A amostra arranjada em bandejas, de forma mais rasa possível, evitando que o vapor d'água evaporada no fundo da bandeja permaneça retida por excesso de areia.

7.2.1 Granulometria

Ao final da secagem e armazenamento da areia, uma amostra foi destinada ao ensaio de granulometria. O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada.

Através dos resultados obtidos do ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, importante para a classificação dos solos e para a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade etc.

Para proceder a realização do ensaio de granulometria através do peneiramento e sedimentação, são necessários alguns equipamentos e utensílios utilizados no ensaio, como: Balança; Almofariz e mão de grau; Cápsulas para determinação de umidade; Estufa; Jogo de peneiras (50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,42; 0,30; 0,15; 0,075mm); Agitador de peneiras; Dispensador elétrico; Proveta graduada de 1000ml; Densímetro graduado de bulbo simétrico; Termômetro; Cronômetro.

7.2.2 Ensaio picnômetro

Para a determinação da densidade real da areia média, foi utilizado o picnômetro do laboratório de mecânica dos solos, seguindo a DNER – ME 093/64 – “Densidade real dos solos”, e a NBR 6457 – ABNT – “Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização”.

Os equipamentos utilizados foram balança com capacidade de 200g, de sensibilidade de 0,01g, 3 picnômetros, água, areia média, termômetro, água destilada, cronômetro e equipamentos de segurança.

Foi utilizado 10g de solo seco preparado de acordo com o método de preparação de amostra de solo para ensaios de caracterização.

- a) Pesou-se o picnômetro vazio, seco e limpo (P1);
- b) A amostra (em torno de 10g) foi colocada no picnômetro até cobrir, com excesso, a amostra;
- c) Colocou-se água destilada no picnômetro até cobrir, com excesso, a amostra;
- d) Aqueceu-se o picnômetro, deixando a água ferver, pelo menos durante 15 minutos, para expulsar todo o ar existente entre as partículas do solo, agitando para evitar o superaquecimento;
- e) O picnômetro esfriou a temperatura ambiente;
- f) Completou-se o volume do picnômetro com água destilada, colocou-se em banho d'água à temperatura ambiente, arrolhou-se o picnômetro e a partir daí, registrado a temperatura do banho;
- g) Retirado o picnômetro, enxugou-se e pesou-se com o conteúdo (P3);
- h) Retirou-se todo o material de dentro do picnômetro, lavado e enchido completamente com água destilada. Arrolhou-se e foi pesado o conjunto picnômetro mais água (P4).

A densidade real do solo à temperatura (t) do ensaio é calculada pela seguinte relação:

Equação 2 - Densidade real com picnômetro.

$$\delta t = \frac{P2 - P1}{(P4 - P1) - (P3 - P2)}$$

Onde:

δt = Densidade real do solo à temperatura t do ensaio;

P1 = Peso do picnômetro vazio;

P2 = Peso do picnômetro mais amostra, em gramas;

P3 = Peso do picnômetro mais amostra mais água, em gramas;

P4 = Peso do picnômetro mais água, em gramas.

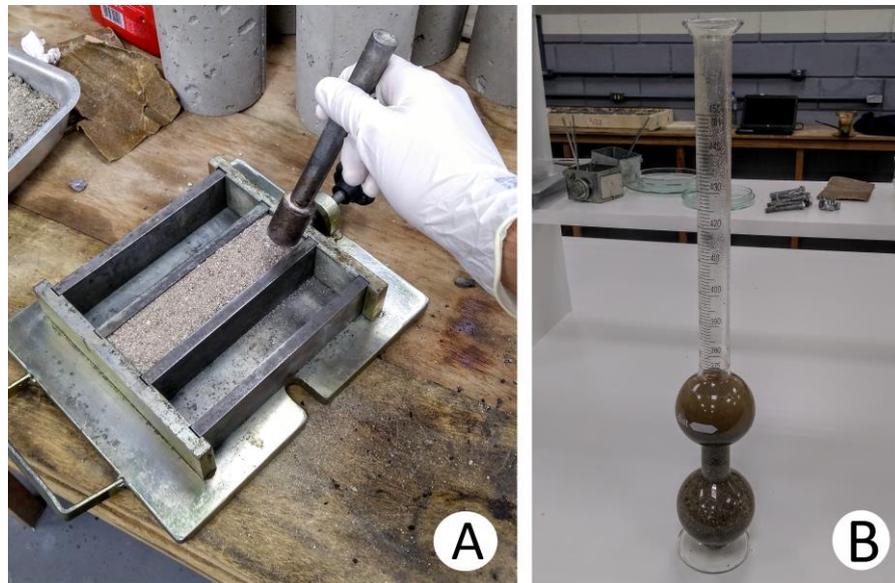
7.2.3 Absorção de água da areia média

A determinação da absorção de água do agregado miúdo foi feita reproduzindo o método realizado por Bennack (2016). Utilizando um molde metálico prismático com dimensões de (4x4x16) cm, foram adicionadas pequenas porções de areia, compactadas de forma manual com um auxílio de um soquete de bancada, até o limite superior do molde, a fim

de obter-se o volume do agregado miúdo (Figura 7-a).

Em um frasco de Chapman (Figura 7-b), foi adicionado 300 cm³ de água e, em seguida, introduzida a areia que teve o volume determinado anteriormente com o auxílio de um funil. Após 5 dias, visando garantir a total absorção de água pelo agregado, foi feita a leitura do frasco. A figura a seguir expõe as etapas do processo.

Figura 7 - Métodos e equipamentos na determinação da absorção de água na areia média.



Fonte: O Autor (2018)

A partir deste, a determinação de água do agregado miúdo se deu a partir das equações abaixo.

Equação 3 - Absorção do material.

$$\text{Água Absorvida (Areia)} = V_{ag} - V_f$$

Onde:

V_{ag} = soma entre o volume inicial de água (200cm³) e volume do molde (256cm³);

V_f = Valor aferido no frasco Chapman, após 5 dias (cm³).

$$\text{Absorção (Areia)} = \frac{\text{Água Absorvida}}{V_{ag}} \cdot 100[\%]$$

$$\text{Absorção} = 0,1813 \cdot 100[\%] = 18,13\%$$

7.3 EXECUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA (CP's)

Para moldagem e cura dos corpos-de-prova seguiu-se a norma ABNT NBR 5738 (ABNT, 2015a) para todas as misturas. Os equipamentos utilizados foram a betoneira (Figura 8–a), moldes metálicos (Figura 8–b), espátulas, compactador Proctor (Figura 8–c), régua e balança de precisão 0,01g (Figura 8–d).

Figura 8 - Equipamentos utilizados no processo de moldagem dos corpos de prova



Fonte: O Autor (2018)

Os moldes de metal de (10x20) cm foram internamente revestidos com óleo (Semissintético 5W30). A mistura foi preparada seguindo a sequência de mistura da brita, metade da água, agregado miúdo (areia ou cinza) e cimento, respectivamente na betoneira. É válido ressaltar a dificuldade na homogeneização da mistura do material quando utilizado a cinza de madeira, ficando grande parte retida nas hastes metálicas da betoneira, e nessas foi necessário uma mistura manual a fim de retirá-las e dar sequência ao processo.

Foi acrescentado o restante da água, onde se misturou por tempo suficiente, baseado no aspecto visual, em que a mistura apresentava-se homogênea, isto é, a cada utilização de areia ou cinza, foi necessário mais tempo de mistura.

Na elaboração da última dosagem (T3), a cinza trouxe grande dificuldade de mistura, mesmo com interrupções manuais, dessa forma, havia brita, cinza e cimento secos nas hastes e uma parcela misturado ao centro, nesse contexto, foram adicionados de forma gradativa 200g de água, com um total de 2200g adicionados até apresentar visualmente um material misturado homogêneo, sem material seco agregado nas laterais, fundo ou hastes, como representado na Figura 9. Dessa forma, a relação a/c não foi mantida em 0,32 para a última dosagem (T3), alterada para 0,60 por questões executivas, de mistura e de trabalhabilidade, conforme a Tabela

7 a seguir.

Tabela 7 - Dosagem T3 após a execução

T3 - 10% CINZA DE MADEIRA									
Nº Amostras T3	Materiais (g)	CP II-Z-40		Cinza		Brita 1		Água	
		0,00	(g)	0,40	(g)	3,60	(g)	0,60	(g)
10	3800	760,00		304,00		2736,00		456,20	

Fonte: O Autor (2018)

Figura 9 – Mistura do concreto permeável, traço A.



Fonte: O Autor (2018)

7.3.1 Moldagem e cura dos CP's

Com o ensaio de abatimento de cone verificado anteriormente, deu-se início a moldagem dos CP's, para cada traço, foram elaborados 9 corpos-de-prova ao todo, por dosagem, sendo 8 no molde cilíndrico de 10x20 cm e 1 destinado ao ensaio de permeabilidade, de dimensões maiores, sendo mencionados posteriormente no trabalho.

Cada molde foi preenchido com material de forma similar ao executado com o abatimento de cone, dividido em 3 camadas, cada uma, compactada 25 vezes com o compactador de Proctor. Importante ressaltar que os golpes foram distribuídos sempre em locais

diferentes, procurando a maior distribuição e área superficial atingida pela compactação em toda a amostra.

Após a compactação, os moldes foram preparados para a cura, etapa dividida em duas partes. A primeira, 24h no laboratório a temperatura ambiente, sendo recoberto por uma lona, tentando impedir a perda de água no processo, e os outros 27 dias de cura úmida, em uma caixa d'água com abundância em cal.

7.3.2 Moldagem e cura dos CP's para o permeâmetro

Um dos parâmetros abordados pelo trabalho engloba a permeabilidade do concreto. Sendo assim, procurou-se um ensaio verificar a permeabilidade em uma amostra. Em parceria com o professor Dr. Marcelo Heidemann, especialista na área de mecânica dos solos e geotecnia, optou-se por uma amostra de dimensões cilíndricas com dimensões 10cm x 35cm de altura.

A compactação da amostra foi similar ao restante do processo, a mesma energia de compactação foi utilizada, dividida em três camadas com 25 golpes cada uma, para ter uma proximidade no processo e correlacionar os dados de forma mais fiel.

7.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES

O ensaio foi realizado em parceria com o laboratório de materiais de construção da Faculdade Anhanguera de Joinville, a qual possui uma prensa hidráulica da marca Solotest utilizada em todos os CP's.

Obteve-se o valor da força máxima suportada, valor disponibilizado em tonelada-força, e posteriormente convertido para megapascal. Vale ressaltar que a relação h/d do corpo de prova foi verificada e corrigida quando necessário conforme consta na ABNT NBR 5739 (2007). Foram ensaiados 4 corpos-de-prova por com idades de cura iguais em 28 dias para cada formulação.

A resistência à compressão foi calculada através da Equação 4, em razão da irregularidade na compactação com o compactador Proctor e a retífica utilizada previamente, a relação altura/diâmetro (h/d) de alguns corpos de prova foi menor que 1,94, e faz-se necessária correções, de forma interpolada para cada corpo de prova, descritas na Tabela 8, conforme estabelece a NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Equação 4 - Resistência em compressão axial simples (MPa).

$$F_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$$

Onde:

F_c = Resistência em compressão (Mpa)

F = Força máxima alcançada (Newton)

D = Diâmetro dos CP's (mm)

Tabela 8 - Fator de correção para corpos-de-prova cilíndricos em de compressão axial.

Relação h/d	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Fator de correção	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

Fonte: Adaptado de NBR 5739 (2007)

7.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS-DE-PROVA CILINDRICOS

O processo prévio ao ensaio foi similar ao da compressão simples, realizado em sequência na Faculdade Anhanguera, o ensaio foi realizado com uma temperatura ambiente de 25°C, umidade relativa de 50%, com uma célula de carga de 10000kgf, uma pré carga de 4903,40N e uma velocidade de avanço de 20,0mm/min.

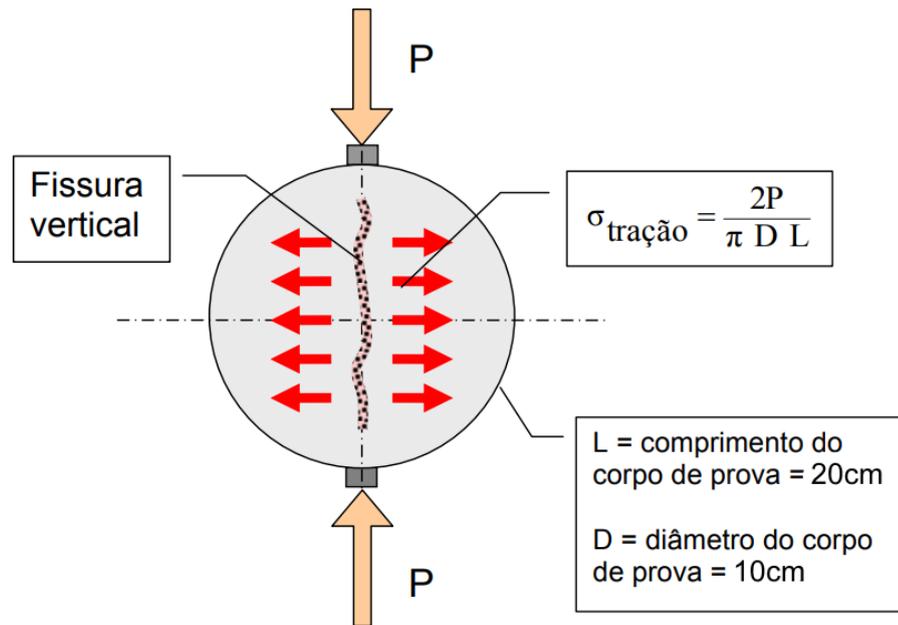
A norma NBR 7222 (ABNT, 2010) cita que quando o diâmetro, ou a maior dimensão dos pratos da máquina de ensaios, for menor que o comprimento do cilindro a ser ensaiado, deve ser utilizada uma viga ou placa complementar de aço usinado, de forma a distribuir uniformemente, sobre todo o corpo de prova, as cargas aplicadas.

A fim de determinar o valor de resistência a tração das amostras, o ensaio fornece o valor da resistência à tração por compressão diametral, sendo um valor um pouco maior que o obtido no ensaio de tração direta. O ensaio de compressão diametral é relativamente simples de ser executado e fornece também resultados mais uniformes do que os da tração direta.

Após o ensaio, é obtido o valor da carga aplicada, em quilograma-força, bem como o

deslocamento da amostra, em mm. A Figura 10 e Equação 5 abaixo determinam o procedimento para o cálculo do valor da resistência à tração por compressão diametral em megapascal.

Figura 10 – Determinação do valor de ensaio de compressão diametral.



Fonte: Adaptado de Carneiro (2018)

Equação 5 - Conversão compressão diametral para MPa.

$$\sigma, \text{tração} = \frac{(2 \cdot P)}{(\pi \cdot D \cdot L)}$$

Onde:

P = Valor obtido e fornecido no ensaio, convertido (Newton);

D = Diâmetro do corpo-de-prova (m);

L = Largura do corpo-de-prova (m).

7.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS: ABSORÇÃO DE ÁGUA, DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE ABERTA

Para a obtenção das propriedades físicas (absorção de água, densidade aparente e porosidade aberta) foram utilizados 2 pares de fragmentos dos mesmos corpos de prova do ensaio de compressão axial simples e compressão diametral, com máximos 38 e mínimos 31 dias de cura, variando entre formulações.

O método segue o princípio de Arquimedes, segundo Rossetto (2017), consiste em:

a) condicionar o corpo de prova em estufa à aproximadamente $(103 \pm 1) ^\circ\text{C}$, durante 24 horas, e realizar sua pesagem (m_s);

b) imergir os corpos de prova em água durante 72 horas para que todos os poros sejam preenchidos e realizar a pesagem imersa (m_i);

c) pesagem da amostra com sua superfície aparentemente seca (m_{ss}).

Com base nas medições de massa realizadas é possível obter as propriedades físicas utilizando as Equações 6;7 e 8 abaixo.

Equação 6 – Absorção de água

$$\text{Absorção de água} = \frac{m_{ss} - m_s}{m_s} \times 100$$

Equação 7 – Densidade aparente

$$\text{Densidade aparente} = \frac{m_s}{m_{ss} - m_i}$$

Equação 8 – Porosidade aberta

$$\text{Porosidade aberta} = \frac{m_{ss} - m_s}{m_{ss} - m_i} \times 100$$

7.7 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Permeabilidade é a propriedade que um solo ou amostra apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o grau de permeabilidade expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade”. O estudo da percolação de água na amostra é importante porque intervêm num grande número de problemas práticos, como um projeto de drenagem e a funcionalidade real do concreto permeável.

A determinação do coeficiente de permeabilidade é feita tendo em vista a lei experimental de Darcy, proposta em 1856. O ensaio pode ser dividido em duas frentes: permeâmetro de carga variável e permeâmetro de carga constante, sendo diferenciadas por fatores que alteram o coeficiente de permeabilidade, tais como o índice de vazios, temperatura, estrutura do solo, grau de saturação e estratificação do terreno.

Para o presente trabalho, torna-se interessante o uso do ensaio de permeâmetro de carga constante, este é utilizado para medir a permeabilidade dos solos granulares (solos com razoável quantidade de areia e/ou pedregulho), os quais apresentam valores de permeabilidade elevados. A equação 9 abaixo foi utilizada para determinação do coeficiente de permeabilidade.

Equação 9 - Lei de Darcy

$$Q = v. A. t$$

$$Q = k. i. A. t$$

$$k = \frac{q. L}{A. h. t}$$

$$k = \frac{4. Q. L}{\pi. d^2. t}$$

Onde:

K= Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

q – Quantidade de água medida após a coleta (cm³);

L – Comprimento da amostra medido no sentido do fluxo (cm);

A – Área da seção transversal da amostra (cm²);

h – Diferença do nível entre o reservatório superior e o inferior (cm);

t – Tempo medido entre o início e o fim do ensaio (s).

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para os ensaios propostos bem como as discussões referentes aos ensaios realizados.

8.1 ENSAIO MVR PARA A BRITA 1

A Tabela 8 abaixo exibe os valores obtidos do ensaio, levando em conta uma amostra peneirada de Brita 1 passante entre a peneira 19mm e 12,5mm, lavada e seca em estufa, por 24 horas. Ressalta-se que o ensaio foi realizado segundo as Normas P18-559 (2005) e NF EN 12697-5 (2003).

Tabela 9 - Valores e resultados do ensaio MVR.

Brita 1		
Massa específica (g/cm ³)	Diâmetro Máximo (mm)	Diâmetro Mínimo (mm)
2,512	19,0	12,5

Fonte: O Autor (2018)

8.2 AREIA MÉDIA E SUAS PROPRIEDADES

O procedimento procurou respeitar a NBR-7181/ABNT - Análise Granulométrica de Solos e NBR 7122; elaborando assim as Tabelas 9 - 10, e a curva granulométrica exposta no Gráfico 3 abaixo.

Tabela 10 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

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

Notas:

¹⁾O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

²⁾O módulo de finura da varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

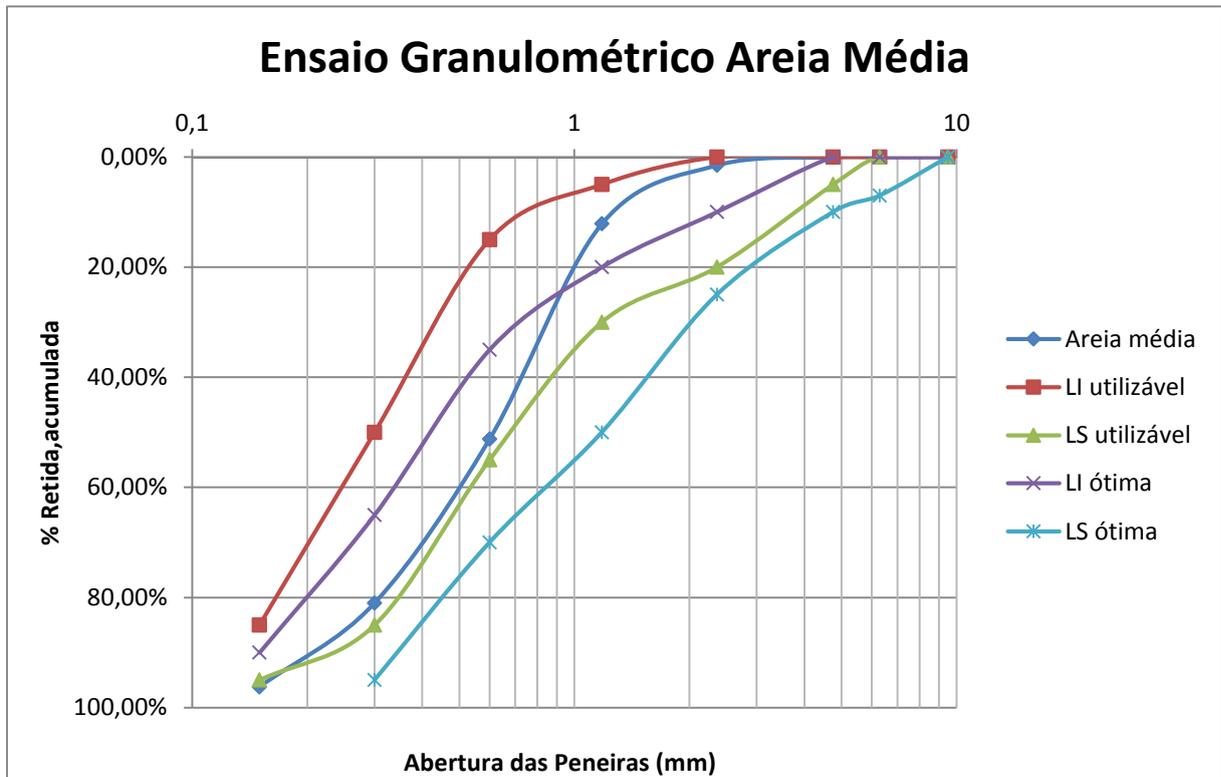
Tabela 11 – Granulometria e material passante da areia média.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Massa peneira inicial	Massa peneira final
9,5	0,03	420,27	420,3
6,3	0,42	438,16	438,58
4,75	0,41	450,95	451,36
2,36	14,47	382,8	397,27
1,18	106,16	360,7	466,86
0,6	390,69	321,2	711,89
0,3	297,81	316,34	614,15
0,15	152,32	295,73	448,05
Fundo	37,76	491,29	529,05
Soma Massa total	1000,07		

Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)	Limites inferiores		Limites superiores	
		Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,04%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	7,00%
0,04%	0,09%	0,00%	0,00%	5,00%	10,00%
1,45%	1,53%	0,00%	10,00%	20,00%	25,00%
10,62%	12,15%	5,00%	20,00%	30,00%	50,00%
39,07%	51,22%	15,00%	35,00%	55,00%	70,00%
29,78%	81,00%	50,00%	65,00%	85,00%	95,00%
15,23%	96,23%	85,00%	90,00%	95,00%	100,00%
3,78%	100,01%				
Módulo de Finura	2,42%	Diâmetro máximo (mm)	2,36		

Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia média.



Fonte: O Autor (2018)

8.2.1 Ensaio picnômetro

A fim de confirmar valores obtidos previamente por meio de ensaios com o frasco Chapman em análises prévias no laboratório, a densidade real da areia média obteve uma proximidade de valor, confirmando assim um valor esperado em um intervalo próximo de $2,622 \text{ g/cm}^3$, podendo variar de acordo com a amostra retida somada aos procedimentos de execução do ensaio.

O procedimento envolveu a análise de 3 amostras, todas ao mesmo tempo e sob condições de temperatura semelhantes, a fim de obter a média delas ao final do experimento, como disposto na Tabela 11 a seguir.

Tabela 12 – Valores do ensaio de picnômetro para areia média.

Picnômetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
P1 (g)	17,42	14,54	17,41
Areia (g)	10,1	10,03	10,14
P2(g)	27,65	24,54	27,52
P3 (g)	49,39	49,27	50,71
P4 (g)	43,26	43,11	44,57
Densidade Real (g/cm ³)	2,495	2,604	2,547
DR Média (g/cm ³)	2,56		

Fonte: O Autor (2018)

Para melhor visualização, a areia média fica correlacionada sob as seguintes propriedades expostas na Tabela 12.

Tabela 13 - Propriedades e características da areia média.

Areia Média			
Massa específica (g/cm ³)	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Absorção de Água (%)
2,6	2,36	2,42	18,13

Fonte: O Autor (2018)

8.3 CURVA GRANULOMÉTRICA CINZA DE MADEIRA

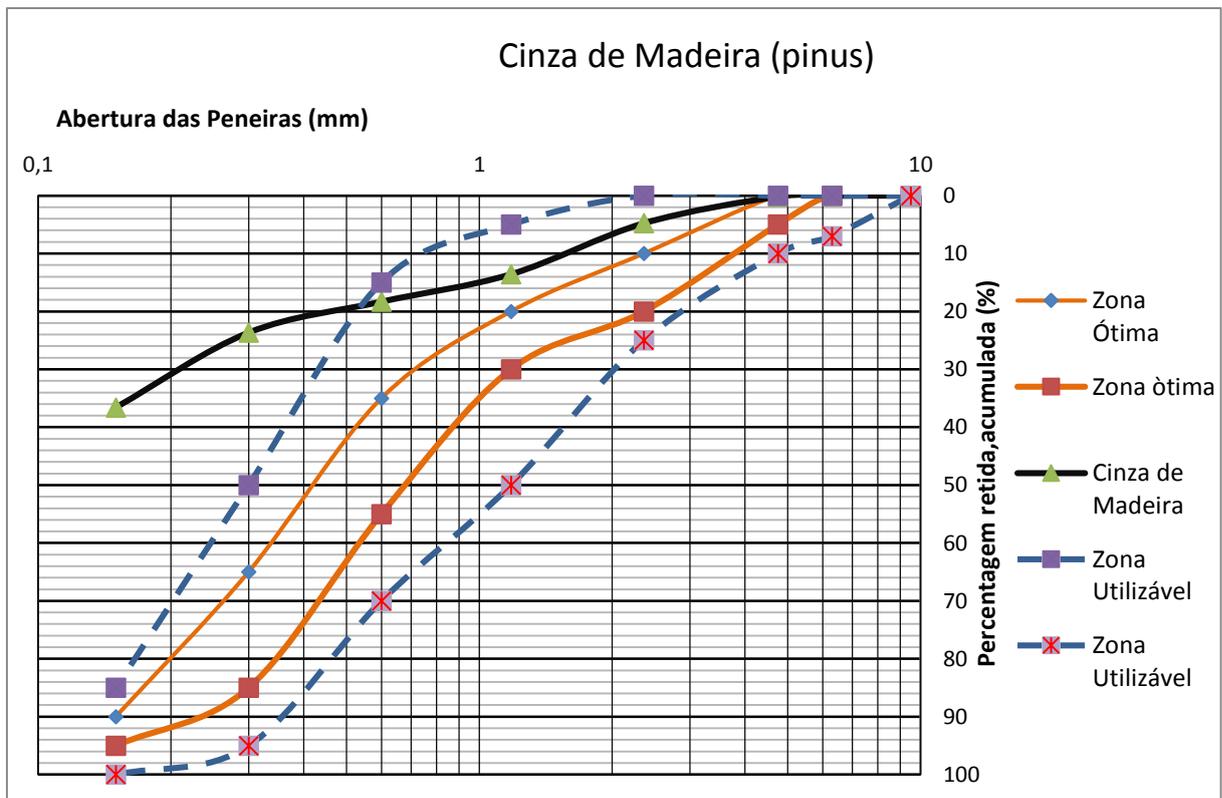
Para conhecimento de suas propriedades, uma curva granulométrica foi elaborada para a pesquisa, os valores obtidos estão dispostos abaixo na Tabela 11, em seguida, o Gráfico 4 gerado, a partir dos dados coletados.

Tabela 14 - Dados do ensaio granulometria cinza de madeira

GRANULOMETRIA CINZA					
# PENEIRAS	Peso Peneira (g)	Peneira + Cinza (g)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida acumulada
9,5	427,01	427,01	0	0	0
6,3	437,99	437,99	0	0	0
4,75	450,95	451,75	0,8	0,159833773	0,159833773
2,36	382,29	405,31	23,02	4,599216815	4,759050587
1,18	360,25	404,35	44,1	8,81083673	13,56988732
0,6	321,11	344,86	23,75	4,745065132	18,31495245
0,3	315,95	342,7	26,75	5,344441781	23,65939423
0,15	295,5	360,2	64,7	12,92655638	36,58595061
0,074	297,34	465,69	168,35	33,63501958	70,22097019
0,063	283,46	384,6	101,14	20,20698474	90,42795493
0,01	491,17	539,08	47,91	9,572045073	100
			500,52		

Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 4 - Curva granulométrica da cinza de madeira.



Fonte: O Autor (2018)

Analisando a curva granulométrica obtida é observado que não atinge-se os limites mínimos de utilização estabelecidos pela ABNT/NBR 7211, contudo, a finalidade do material é a utilização como substituição da areia em baixas quantidades, a composição granulométrica do agregado miúdo para os corpos de prova com substituição da areia por cinza de madeira no

mesmo percentual de 10%, assim se encontram dentro dos limites. convencionados.

8.4 PROCESSO DE CURA DOS CP'S

Como exemplificado na primeira parte da imagem abaixo, os moldes foram preparados para a cura, etapa dividida em duas partes. A primeira, 24h no laboratório a temperatura ambiente, sendo recoberto por uma lona, tentando impedir a perda de água no processo. (Figura 11-a). Em seguida, os CP's foram realocados à cura úmida, um processo durou 27 dias, em que todas as amostras ficaram submersas em água saturada com cal, a fim de evitar a proliferação de matéria orgânica (Figura 11-b).

Figura 11 – Etapas de cura dos CP's.



Fonte: O Autor (2018)

8.5 MOLDAGEM E CURA DOS CP'S PARA O PERMEÂMETRO

A Figura 12 exemplifica como ficaram alocadas as amostras no PVC, divididas entre os 3 traços da pesquisa. A cura foi dividida em 3 etapas, a primeira, nas primeiras 24 horas, cobertas com uma lona, a fim de combater a evaporação da água, a segunda, em cura úmida por

7 dias, e em seguida 25 dias, em média, de cura exposta, sem nenhum tipo de contenção e controle da cura, a não ser a temperatura ambiente do laboratório.

Figura 12 – Amostras de concreto permeável para o ensaio de permeâmetro



Fonte: O Autor

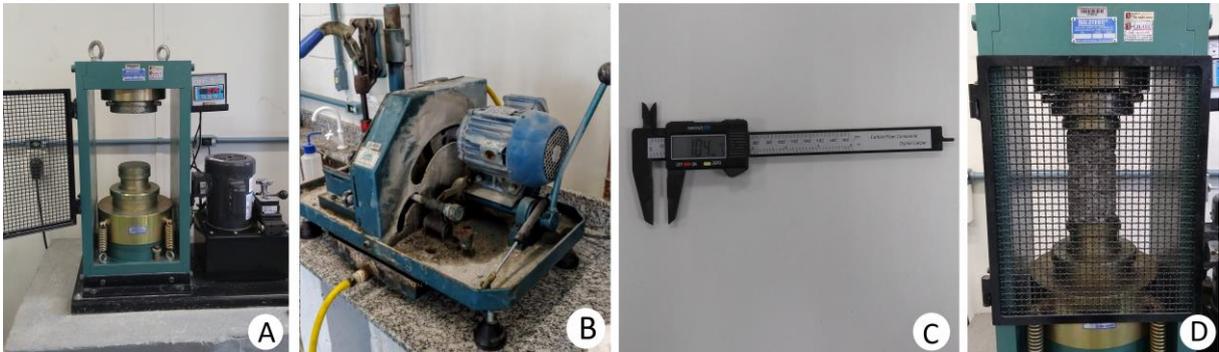
8.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES

Os resultados do ensaio de compressão axial simples são apresentados no Gráfico 5 determinada em função das diferentes dosagens, sob a mesma idade de cura (28 dias) durante o ensaio.

Uma prensa hidráulica da marca Solotest (Figura 13-a). Os corpos-de-prova tiveram primeiramente suas superfícies rasadas pela retifica (Figura 13-b) e seus diâmetros e alturas medidas pelo paquímetro da marca Hilda Digital Caliper, com precisão de 0,1 mm (Figura 13-c), conforme orienta a norma NBR 5739 (ABNT, 2007).

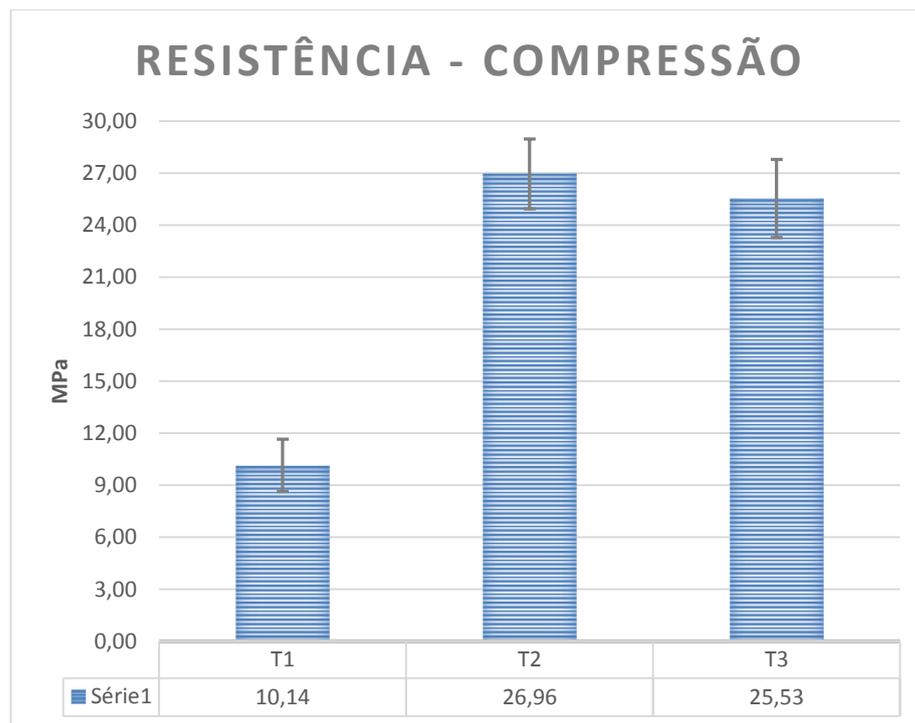
Os pratos da máquina e as faces dos CP's foram limpos e secos, centralizando os CP's na máquina (Figura 13-d), para um carregamento constante de velocidade de ensaio do equipamento ($0,45 \pm 0,15$) (Mpa/s) até o seu rompimento. Com os valores de tensão calculados, elaborou-se o Gráfico 5 da tensão de tração.

Figura 13 – Equipamentos envolvidos no processo do ensaio de compressão simples.



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 5 – Resistência á compressão das dosagens.



Fonte: O Autor

Os valores acima foram obtidos através de uma análise prévia, em que foi analisado em um primeiro momento, um desvio padrão e média aritmética simples dos 4 CP's. Com base na média, desvio padrão e os valores de máxima e mínima, foi eliminado assim o valor que apresentava a maior divergência da média, em relação ao desvio padrão, sendo ele um valor acima ou abaixo da média inicial.

A partir de então, o presente gráfico apresenta valores mais precisos, desvios padrão de 1,50/2,02/2,25 MPa, para T1/T2/T3, abordando 3 CP's, nas três dosagens. Todos os valores obtidos no ensaio de compressão foram realizados com o mesmo equipamento, na Faculdade

Anhanguera, sob os parâmetros abordados no capítulo anterior.

É possível notar um ganho de resistência muito significativo com adição de agregado miúdo, cerca de 165,88% para T2 e 151,78% para T3. O aumento era esperado, visto que o espaço vazio do CP, previamente ocupado por ar, passa a ser ocupado pelo agregado miúdo, criando uma maior interação entre os grãos um série de ligações entre a brita e mistura de cimento.

Comparando T2 e T3, a diferença de 5,60%, expressa um valor interessante visto a finalidade da cinza de madeira no trabalho. A cinza, como abordado em Bennack (2016) tem uma curva de resistência ótima em suas dosagens, apresentando significantes crescentes até uma dosagem entre 0-10%, valor que decresce, em misturas que abordam substituições de agregado miúdo de 15% em diante.

Uma análise prévia pode considerar a mistura a uma utilização de forma estrutural, visto que a resistência média foi superior a 25,0MPa. O concreto permeável torna-se interessante por suas propriedades funcionais, considerando que a utilização de agregado miúdo foi relativamente baixa e já apresentou ganhos superiores a 250%, um fator que expressa a sensibilidade da mistura com o agregado miúdo no traço.

Para o uso do concreto permeável para pavimento rígido, o DNIT em Manual de Pavimentos Rígidos (2004), cita apenas um valor mínimo de 30MPa para o concreto armado, inviabilizando assim, a comparação e análise de forma mais criteriosa.

É possível confirmar que a adição de agregado miúdo nas dosagens foi válido pois na comparação com a literatura, seria um valor esperado para o concreto permeável de (5,0-25,0)MPa, sendo que os resultados encontrados reforçam a boa execução, preparo dos materiais e o propósito do trabalho.

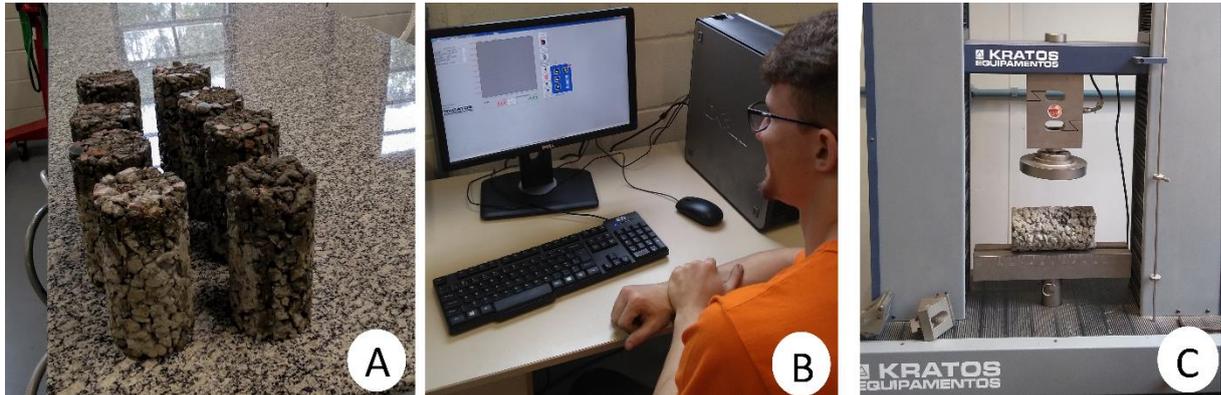
8.7 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS-DE-PROVA CILINDRICO

Todos os CP's tiveram o mesmo preparo (retifica, leitura de altura e diâmetro em Figura 14-a). O ensaio foi realizado com uma máquina de ensaios da Kratos Equipamentos, tendo seu processo todo controlado pelo operador de laboratório e valores disponíveis em computador, em tempo real (Figura 14-b).

Com o corpo de prova posicionado de forma que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas (Figura 14-c) recebam o carregamento e coincidam com o eixo de aplicação de carga, aplicou-se um carregamento com velocidade de avanço constante, até sua

ruptura segundo o que é recomendado pela norma citada. Foram ensaiados 4 corpos de prova com idade de cura igual a 28 dias para cada formulação.

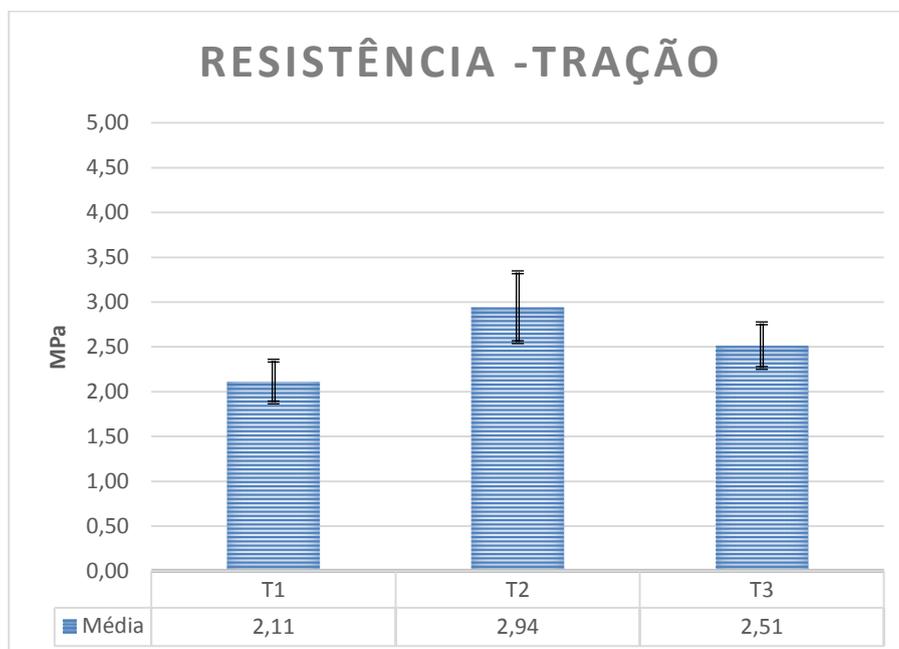
Figura 14 – Procedimento e equipamento do ensaio de compressão diametral.



Fonte – O Autor (2018)

Para a elaboração dos valores apresentados, foi utilizada a Equação 5 após a conversão das unidades de tonelada-força para MPa ao final. A preparação do gráfico foi similar à análise do ensaio passado, em que houve uma análise prévia dos valores obtidos. Foi obtida a média aritmética simples e desvio padrão das 4 amostras, por dosagem, analisando assim os valores de máxima e mínima, e excluindo do grupo o valor que apresentasse a maior divergência superior ou inferior, em relação à média, resultando assim no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Resistência à tração das diferentes dosagens.



Fonte: O Autor (2018)

Os valores acima englobam a média após a análise estatística, apresentando desvios padrão de 0,24/0,39/0,25 para T1/T2/T3.

O traço de concreto permeável com o menor valor alcançado foi o T1 novamente, tendo um acréscimo de 39,33% para T2 e 18,96% para T3. Novamente, a utilização de agregado miúdo no traço resultou em ganho de resistência para o concreto permeável.

Ao comparar T2 com T3, a cinza de madeira de T3 obteve um valor inferior novamente, dessa vez na ordem de 17,13%. É importante ressaltar que a cinza de madeira ainda obteve valores de ganho de resistência na substituição de até 10%, similar à compressão, o que expressa novamente a finalidade da cinza de madeira no trabalho como uma aposta positiva.

O concreto apresenta baixa resistência à tração, sendo assim, foi um dos desafios da pesquisa em âmbito da real utilização. Segundo o DNIT o concreto destinado para a execução de pavimentos rígidos deve ter resistência à tração na flexão de 4,5 MPa, e entre outras características apresentar menor variação volumétrica, menor suscetibilidade a fissura e bom desempenho em relação aos esforços do tráfego e a ação do meio ambiente.

Nenhuma das dosagens obteve valor satisfatório na grandeza de 4,5 Mpa, conforme recomendado no Manual de Pavimento Rígido do DNIT (2004). Assim, é de maior interesse e finalidade a utilização em áreas de baixa sollicitação, tráfego e carga; como ciclovias, área para pedestres, áreas de uso comum ou até estacionamentos que abrangem uma carga estática de baixa sollicitação, porém com o cuidado limitados em termos de utilização e abrasividade superficial do concreto.

8.8 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS: ABSORÇÃO DE ÁGUA, DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE ABERTA

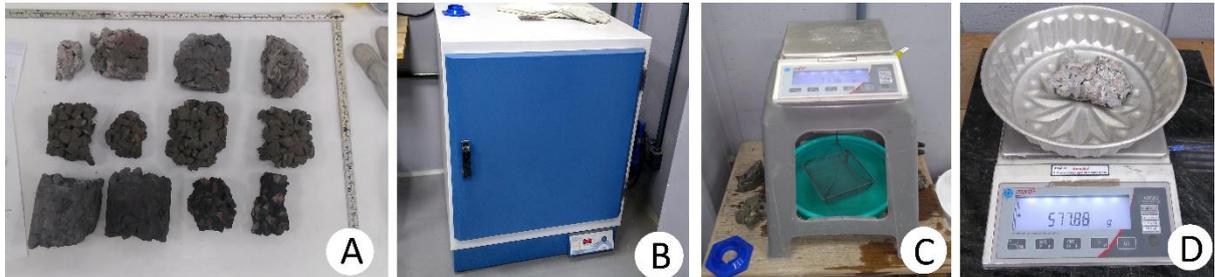
Os ensaios desse item são de caráter físico diferente dos apresentados até agora, que eram mecânicos. Contudo, a absorção de água, densidade aparente e porosidade aberta são parâmetros que estão interligados com parâmetros mecânicos estudados.

Desta forma, para os resultados obtidos nesses ensaios, tentou-se relacionar com os resultados obtidos nos ensaios anteriores, pois conforme Neville (2017), a porosidade está diretamente conectada à resistência a compressão, por exemplo. As propriedades aqui estudadas apresentam grande importância a fim de determinar parâmetros para o concreto permeável.

Foram utilizados quatro fragmentos por formulação, totalizando 12 fragmentos ao total (Figura 15-a), assim, foram condicionados os corpos-de-prova em estufa à aproximadamente (103 ± 1) °C, conforme Figura 15-b, durante 24 horas, e realizou-se sua pesagem (ms); após, foi

imerso os corpos de prova em água durante 72 horas para que todos os poros sejam preenchidos e realizar a pesagem imersa (m_i), visível na Figura 15-c; a pesagem da amostra com sua

Figura 15 – Etapas da determinação das propriedades físicas.



superfície aparentemente seca (m_{ss}) na Figura 15-d.

Fonte: O Autor (2018)

Os valores apresentam-se na Tabela 15, sendo a pesagem $m_{inicial}$ realizada no dia do ensaio, e as demais respeitando rigorosamente as etapas do método.

Tabela 15 - Valores obtidos no ensaio de propriedades físicas

T1				
Amostra	$M_{inicial}$ (g)	M_{ss} (g)	M_i (g)	M_s (g)
I	103,54	103,71	63,05	98,86
II	450,83	452	202,04	432,09
III	501,72	503,4	213,17	481,1
IV	444,09	445,61	201,06	423,1

T2 (g)				
Amostra	$M_{inicial}$ (g)	M_{ss} (g)	M_i (g)	M_s (g)
I	331,57	336,27	161,32	322,28
II	153,35	155,65	44,12	149,39
III	556,93	562,2	228,12	542,26
IV	426,56	430,86	201,7	414,29

T3 (g)				
Amostra	$M_{inicial}$ (g)	M_{ss} (g)	M_i (g)	M_s (g)
I	709,43	711,13	343,22	650,38
II	682,4	685,21	321,98	626,64
III	247,01	248,13	121,17	223,62
IV	177,16	178,68	101,09	163,23

Fonte: O Autor (2018)

As amostras do ensaio são fragmentos de origem dos ensaios de compressão axial e diametral, sendo recolhido uma amostra a cada par das dosagens utilizados, totalizando 4 fragmentos por traço estudado, resultando assim na Tabela 16, elaborada com os valores decorrentes das Equações 6,7 e 8.

Tabela 16 - Resultados das propriedades físicas do concreto permeável

Propriedades T1			
T1	Absorção de Água (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Porosidade Aberta (%)
I	4,91	2,43	11,93
II	4,61	1,73	7,97
III	4,64	1,66	7,68
IV	5,32	1,73	9,2

Propriedades T2			
T2	Absorção de Água (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Porosidade Aberta (%)
I	4,34	1,84	8
II	4,19	1,34	5,61
III	3,68	1,62	5,97
IV	4	1,81	7,23

Propriedades T3			
T3	Absorção de Água (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Porosidade Aberta (%)
I	9,34	1,77	16,51
II	9,35	1,73	16,12
III	10,96	1,76	19,31
IV	9,47	2,1	19,91

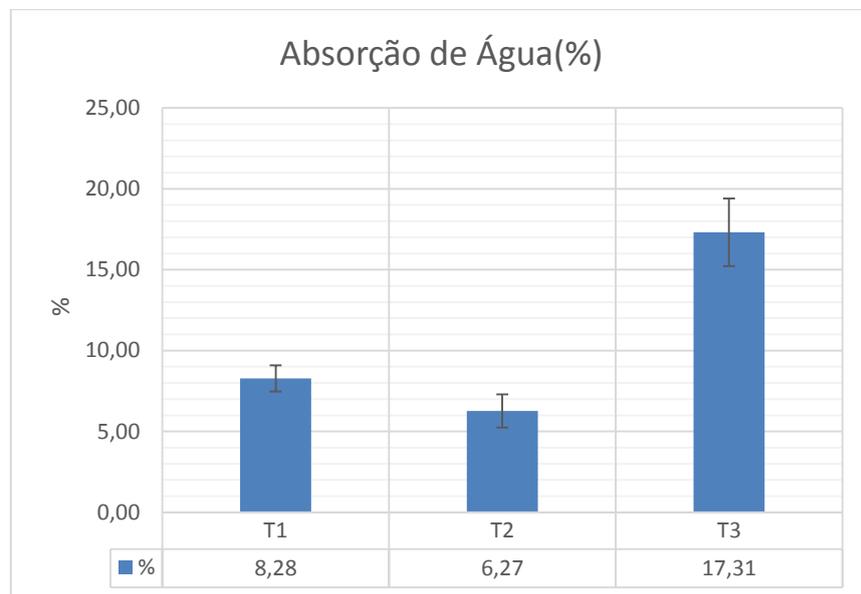
Fonte: O Autor (2018)

É interessante para o estudo a análise da média de cada amostra, assim, foi adotado os mesmos parâmetros utilizados no trabalho de análise estatística, adotando uma média aritmética simples e desvio padrão inicial de todas as amostras, excluindo assim o valor que apresenta a

maior divergência da média em relação ao desvio padrão, sendo o maior valor de amostra superior ou inferior.

Assim, foram determinadas novas médias, com desvios padrão de 0,17/0,17/0,07 para T1/T2/T3, correlacionando os 3 itens abordados em gráficos, expondo a seguir de forma visual a correlação entre as propriedades, começando pelo Gráfico 7 de absorção de água.

Gráfico 7 - Determinação da absorção de água.

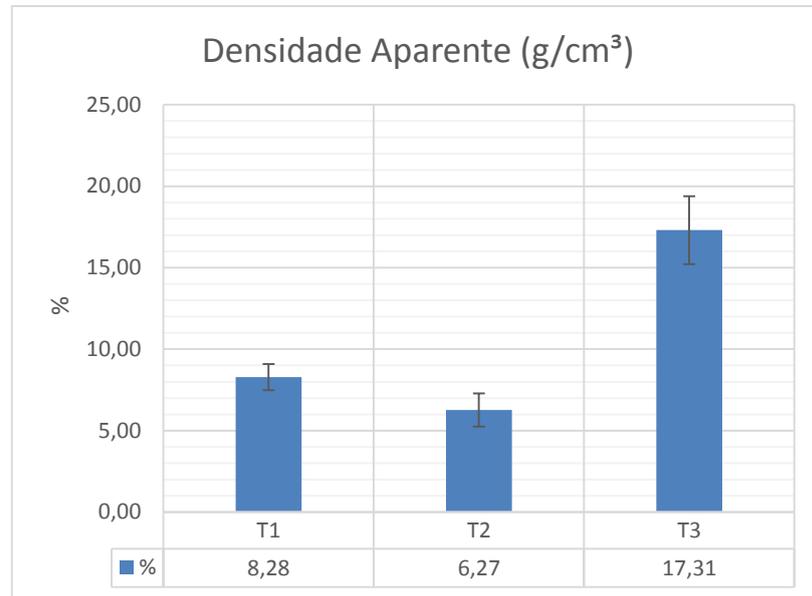


Fonte: O Autor (2018)

A média entre T1 e T2 foram bem próximos, sendo T2 inferior cerca de 22,47%, tal valor é justificado pela presença da areia média da dosagem, que retém menos água do que T1. Já T3 apresenta uma absorção muito elevada, ressaltada também na elaboração do material no processo de mistura, tal propriedade justificada pela propriedade da cinza de madeira, segundo Bennack (2016), a absorção chega a 32,5%, valor bem superior a 18,13% encontrado na areia média pelo frasco de Chapmann.

No Gráfico 8, os desvios padrão foram de 0,04/0,12/0,20 g/cm³ para T1/T2/T3, a densidade aparente apresenta uma propriedade também correlacionada com o índice de vazios, sendo que T1, apresenta teoricamente o maior de todos, tendo ele, a ausência de agregado miúdo, diferentemente de T2 e T3, que apresentam uma proporção de 10% em suas dosagens. Sendo assim, o espaço vazio na amostra previamente ocupado por ar, passa a ser ocupado pelo material da dosagem.

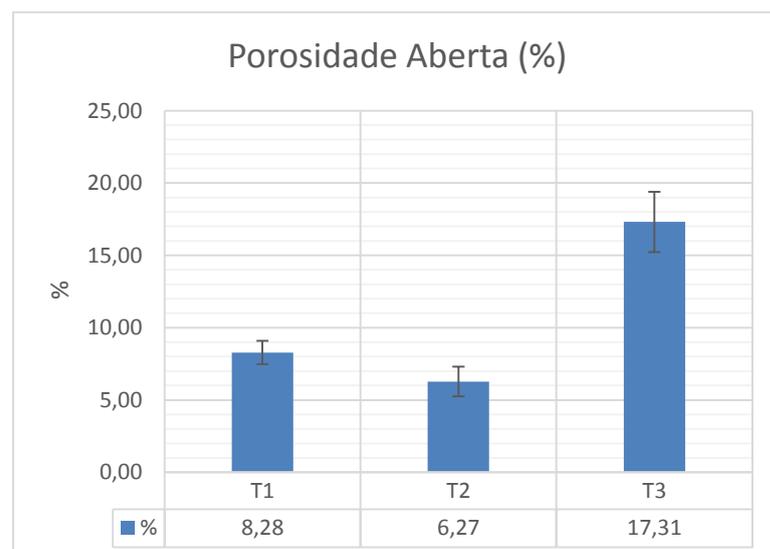
Gráfico 8 - Densidade aparente das dosagens.



Fonte: O Autor (2018)

No Gráfico 9, os desvios padrão foram de 0,81/1,02/2,08 % para T1/T2/T3, é exposto os valores de porosidade aberta, tal fator expõe uma proximidade de valores entre T1 e T2, diferenciados em 32,05%. T1 por não haver material de agregado miúdo, é natural apresentar uma correlação com a densidade aparente e absorção de água, previamente expostas, sendo assim, o valor de T3 abrange um valor não esperado, inversamente proporcional aos valores anteriores. Tal valor pode expressar grande porosidade em função do arranjo da cinza de madeira na dosagem após a cura.

Gráfico 9 - Porosidade aberta

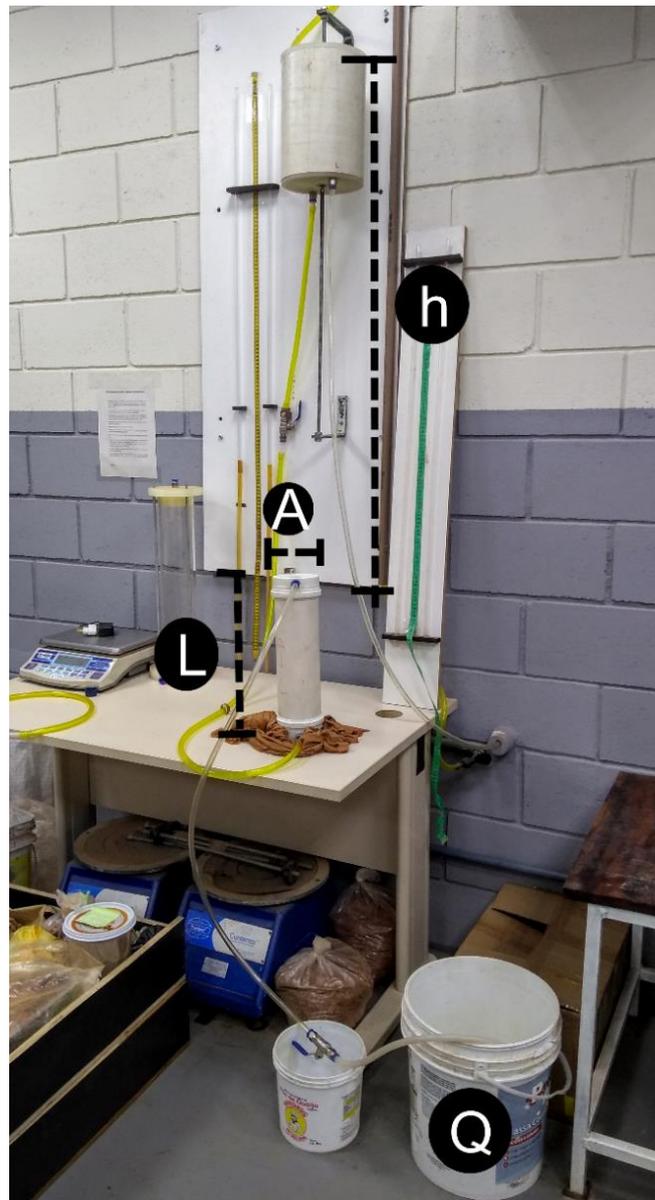


Fonte: O Autor (2018)

8.9 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Este ensaio consta de dois reservatórios onde os níveis de água são mantidos constantes, como mostra na figura abaixo. Mantida a carga h , durante um certo tempo, a água percolada é colhida e o seu volume é medido. Conhecidas a vazão e as dimensões do corpo de prova (comprimento L e a área da seção transversal A), calcula-se o valor da permeabilidade, k , através da equação 9. Para melhor visualização, a Figura 16 expõe o equipamento, bem como as medidas e parâmetros necessários no ensaio que foi realizado no laboratório de Mecânica dos Solos.

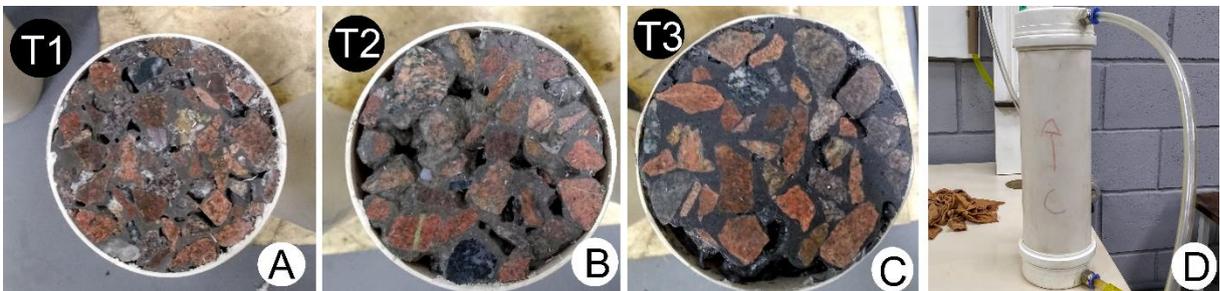
Figura 16 - Permeômetro de carga constante.



Fonte: O Autor (2018)

Previamente ao ensaio, todas as amostras tiveram as extremidades retificadas para evitar falseamento de resultados por acúmulo da material fino decorrente da compactação manual (Figura 17–a,b,c); o tubo de PVC foi isolado em suas extremidades com caps de conexão para tubos 100mm, com vedação em borracha lubrificada que em seguida seria adaptada com conectores em uma altura intermediária de sua lateral (Figura 17–d), buscando assim, um ensaio de maior confiabilidade e homogeneidade no processo possível.

Figura 17 – Amostras retificadas para ensaio de permeabilidade constante.



Fonte: O Autor (2018)

Para cada amostra em tubo, composto por um traço, foi realizado um total de 3 medidas, em seguida, com a vazão constante de água; a temperatura ambiente na hora do ensaio estava a 24°C, o tempo de coleta de amostra em todos os processos foi de 60 segundos, dando início a partir da hora em que a vazão na extremidade superior estava igual a saída, na parte inferior, controlado por uma ladrão no topo do permeâmetro.

Com as vazões controladas, deu início ao ensaio, com um cronômetro travado em 60 segundos, balança de precisão 1g e auxílio de baldes, os valores foram anotados e expressos na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores do ensaio de permeabilidade

<i>Ensaio de Permeabilidade (07/11/18)</i>						
	H (cm)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Volume I (g)	Volume II (g)	Volume III (g)
T1)	36,2	10	102	3099,0	3076,0	3087,0
T2)	34,8	10	116	2903,0	2798,0	2956,0
T3)	34,2	10	122	0,00	0,00	0,00

Fonte: O Autor (2018)

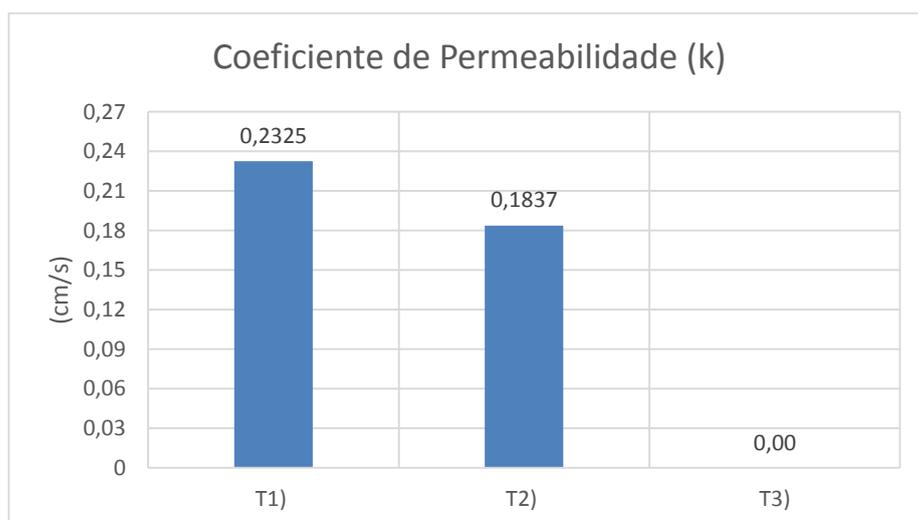
As amostras de T1 e T2 apresentaram ótimos resultados, em média, cada um conseguiu drenar 3 litros/min pelo tubo de PVC de 100mm. A diferença média entre os dois foi de 6,98%, sendo T1 com maiores valores. A diferença foi baixa, quando comparada com os valores obtidos nos ensaios anteriores, justificam as boas propriedades do concreto permeável com substituição de 10% em areia média.

Para T3 não houve resultado do ensaio, a amostra não apresentou permeabilidade e todo volume estava escoando pelo ladrão do equipamento. Assim, foi rearranjado o ensaio para permeâmetro de carga variável, em que a vazão de entrada é concluída e apenas o volume inicial de água gera pressão na amostra, o ensaio é característico para amostras de baixa permeabilidade, como siltes e argilas saturadas e dura 24 horas.

Observou-se que não houve diferença nos níveis de água do equipamento, sendo assim, deu-se por concluído os dois ensaios. Após a retirada da amostra, o tubo foi perfurado a cada 1,5cm na lateral, e foi observado a presença de água até uma altura de 13,5cm da amostra, sendo assim, pode-se concluir que uma camada impermeável durante a execução do CP pode ter falseado o resultado, justificando a permeabilidade zero de T3, que não pode ser considerada de forma homogênea.

Assim, foi obtido o valor de coeficiente de permeabilidade das dosagens a partir de uma média aritmética simples decorrentes da Equação 9 – Lei de Darcy, expressas no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Coeficiente de permeabilidade das dosagens.



Fonte: O Autor (2018)

Para a análise desse valor, é usual trabalhar com valores em ordem de grandeza, assim, é possível determinar a faixa típica do material com base na Figura 18.

Figura 18 - Variação dos valores de K.



	<i>K</i>		<i>Material</i>	<i>Características de escoamento</i>
	<i>cm/seg</i>	<i>m/dia</i>		
10^{-2}	1 a 100	864 a 86400	Pedregulho limpo	Aqüíferos bons
10^{-3}	0,001 a 1	0,86 a 864	Areia limpas, misturas de areia limpas e pedregulho	
10^{-7}	10^{-7} a 10^{-3}	$8,64 \times 10^{-5}$ a 0,86	Areias muito finas; siltes; misturas de areia, silte e argila; argilas estratificadas	Aqüíferos pobres
10^{-9}	10^{-9} a 10^{-7}	$8,64 \times 10^{-7}$ a $8,64 \times 10^{-5}$	Argilas não alteradas	Impermeáveis

Fonte: Adaptado de Marangon (2018)

As amostras de T1 e T2 tiveram uma ordem de grandeza de 10^{-1} , expressos em $2,32 \times 10^{-1}$ cm/s e $1,84 \times 10^{-1}$ cm/s assim, encontram-se em uma faixa típica de valores altos de permeabilidade, entre pedregulhos e areia, expressando a funcionalidade do concreto permeável, e a validação de T2 ser superior em termos de resistência quando comparado com T1 e apresentando uma permeabilidade muito próxima, sendo efetiva em grandes vazões.

A presença de agregado miúdo em T2 não alterou a faixa típica quando comparado com T1, uma vez em que a permeabilidade era esperada menor, justificada pela presença da areia, maior densidade aparente, menor absorção de água e arranjo da areia média na cura da dosagem.

9. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi satisfatoriamente alcançado, pode-se concluir que as dosagens estudadas foram eficientes em termos de resistência à compressão, à tração e permeabilidade.

Em termos de resistência à compressão, o ganho foi muito significativo em relação a T1 (10,14Mpa), 265,88% para T2 (26,96Mpa) e 251,78% para T3(25,53Mpa), o que era esperado, mas não de forma tão expressiva, superando assim, até algumas referências da literatura onde o máximo de resistência era abordado até 25MPa. Em contexto de uso de pavimento, o manual de pavimento rígido do DNIT cita uma resistência mínima de 30MPa para o concreto armado, o que implica em uma utilização limitada em revestimento de pavimento.

A resistência a tração para o concreto foi obtida nos mesmos parâmetros e preparos do ensaio de compressão, os valores ficaram muito próximos, em que T1 (2,11MPa) apresentou novamente, os menores valores, T2 (2,94MPa) expressou um ganho de 39,33%, enquanto T3 (2,76MPa), teve um aumento de 30,81%, quando comparado à T1. O manual de pavimento rígido do DNIT cita uma resistência a tração mínima de 4,5MPa, valor que não foi alcançado em nenhuma das dosagens.

Apenas o ensaio de permeabilidade para T3 não teve valores coletados, mas, como comentado anteriormente poderia haver um falseamento de resultados, não implicando assim em um concreto impermeável, e sim, uma camada no meio da amostra em que durante o processo de compactação acabou gerando um volume de material impermeável.

Tal processo pode se dar através da compactação no processo de moldagem do CP, por dois motivos, o primeiro, na hora da compactação com o compactador Proctor, foi comum observar que algumas britas acabavam não resistindo ao esforço e assim, partiam-se em pequenos fragmentos. O segundo, após a verificação com furos a cada 1,5cm, verificou-se presença de água até a altura de 13,5cm como citado anteriormente, tal altura coincide com o terço médio de altura de compactação, onde foi constatado uma presença de finos e pasta muito elevada na parte superior a medida que a compactação ia ocorrendo, similar a um processo de bombeamento de finos. Tal processo pode ser justificado a adição de água na mistura, buscando uma mistura homogênea, no momento em que a relação a/c do traço foi alterado para 0,60

Em relação ao coeficiente de permeabilidade (k), entre T1 e T2, a diferença foi baixa,

expressando a mesma ordem de grandeza de 10^{-1} , assim, encontram-se na mesma faixa típica de permeabilidade, entre pedregulhos e areia, expressando assim a funcionalidade do concreto permeável.

T2 foi superior em todos os parâmetros abordados, quando comparado à dosagem referência (T1), em termos de resistência, expressando ser muito superior a compressão, superior a tração e obtendo os mesmos valores em coeficiente de permeabilidade, assim, conclui-se um concreto permeável muito mais resistente, mas com a mesma permeabilidade, não foi comprometida assim, a sua funcionalidade.

A permeabilidade precisa ser reavaliada, mas pode-se concluir que T3 expressa uma dosagem interessante, em termos de sustentabilidade e funcionalidade, dois parâmetros que foram somados as propriedades de T3 em que esteve próximo a T2 nos valores coletados de resistência à compressão e à tração, apresentando sempre uma porcentagem um pouco menor a T2, visto que a tendência de redução da resistência à compressão se deve ao fato das partículas das cinzas de madeira atuarem essencialmente como material de enchimento e não como material ligante na matriz cimentícia (UDOEYO et al., 2006).

Para o uso e execução do concreto permeável em T1, T2 e T3 em pavimento rígido, não foi possível concluir sua real aplicação em campo, porém, como uso de revestimento em locais de baixa solicitação de tráfego e carga, como ciclovias, área para pedestres e áreas comuns. As dosagens podem dar grande funcionabilidade ao local, não gerando escoamento superficial e apresentando um bom destino ao corpo hídrico, previamente analisado com as camadas granulares subsequentes somadas a um projeto de drenagem compatível.

A fim de somar e dar continuidade para a área de estudo do trabalho, propõem-se os seguintes estudos:

- Analisar substituição de diferentes dosagens de areia média e cinza de madeira (5%);
- Avaliar as resistências em diferentes idades de cura (7 e 14 dias);
- Estudar a variação da brita na dosagem, de forma mista ou não;
- Avaliar e comparar a utilização de diferentes tipos de agregado miúdo, como uma variação de areia fina e grossa;
- Para o ensaio de com permeâmetro de carga constante, utilizar corpos de prova com diferentes alturas para a mesma dosagem;
- Estudar as propriedades da dosagem com diferentes materiais reutilizados, em substituição do agregado.

REFERÊNCIAS

Abdullahi, M., **Characteristics of wood ash/OPC concrete**. Electronic J Pract Technol, 2006. ABRH. Editorada Universidade. UFRGS. Porto Alegre.

ACI 211.3R-02 - Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete.

ACI 522R-06 – Pervious Concrete.

ACIOLI, L.A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Porto Alegre, UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Março/2005. 162p.

AGRA, S.G. **Estudo Experimental de Microrreervatórios para Controle do Escoamento Superficial**. Porto Alegre, UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2001. 105p.

ARAÚJO, P.R. et al. 1999. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Disponível em:
<http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicações>. Acesso em: Maio de 2018.

ARMITAGE, N. e ROOSEBOOM, A. 2000. **The removal of urban litter from stormwater conduits and streams: paper 1 – The quantities involved and catchment litter management options**. Water SA. No.2. Vol.26. Disponível em: www.wrc.org.za. Acesso em 13 julho 2018.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do Cimento Portland. **Boletim técnico**, São Paulo, n.106, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2009, 2009b. 11 p.

_____. **NBR 16697** – Cimento portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2015, 2015a. 9 p.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2007, 2007. 9 p.

_____. **NBR 6457** - Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização, 2016.

_____. **NBR 7181** - Análise Granulométrica de Solos. Rio de Janeiro, 1984a, 13p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro 1983.

_____. **NBR 7222:** Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 5 p.

_____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2015, 2015b. 3 p.

_____. **NBR 9776:** Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de chapman, Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 27:** Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, 2000.

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

_____. **NBR 5739** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

_____. **NBR 7222-** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos

AZAÑEDO, W.H.M., HELARD, C.H., MUÑOZ, R.G.V., **Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la Ciudad de Cajamarca.** Universidade Nacional de Cajamarca, 2007.

AZZOUT, Y. et al. 1994. **Tecniques alternatives en assainissement pluvial.** Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 372p.

BAPTISTA, M.: NASCIMENTO, N.: BARRAUD, SYLVIE, **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH, (2005), 266 p.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.** 2013. 133p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Transportes – Infraestrutura de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

BEM. **Balço Energético Nacional 2014 ano base 2013.** Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 2 julho 2018.

BEAN, E. Z.; HUNT, W. F.; BIDELESPACH, D. A. **Field Survey of Pavement Surface Infiltration Rates.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 133, No. 3, June, 2007.

BENNACK, Valéria. **Análise da viabilidade técnica da reutilização da cinza de madeira em produtos cimentícios.** 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado). - Ciência e Engenharia de Materiais, UDESC, Joinville, 2016.

BORLINI, M. C. et al. **Cinza da Lenha para Aplicação em Cerâmica Vermelha – Características da Cinza**. São Paulo, v. 51, n. 319, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26791.pdf>>. Acesso em: 20 junho 2018.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.

CANHOLI, A.P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**, São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARNEIRO, Fernando. **Ensaio de compressão diametral**. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/documentos/LOBO_CARNEIRO.pdf>. Acesso em 20 Ago 2018.

C.E.M. **Urban drainage specific climates: urban drainage in humid tropics**. Paris: UNESCO. IHP-V. Technical Documents in Hydrology. No.40. v.I. cap.1, p23 – 40.

CHEAH, C.B.; RAMLI, M. **The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview**. Resources, Conservation and Recycling, 2011.

CHERIAF, M. et. al. **Pozzolanic Properties of Pulverized Coal Combustion Bottom Ash**. Cement and Concrete Research, 1999.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil**. Tecnologia de Edificações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.

CIRIA, **Infiltration drainage – Manual of Good Practice**, CIRIA – Construction Industry Research and Information Association – Report 156, (1996).

CONCRETE NETWORK. 2011. Disponível em: <<http://www.concretenetwork.com>>. Acesso em: 11 julho 2018.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION. **Infiltration drainage: Manual of good practice**. CIRIA – Report 156. 1996.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições Minerais para Concreto**. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

DELLATE, N.; MRKAJIC, A.; MILLER, D. I. **Field and Laboratory Evaluation of Pervious Concrete Pavements**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. v. 2113, p. 132 – 139, Nov. 2009.

DELLATE, N; CLEARY, J. **Developing a Structural Design Method for Pervious Concrete Pavement**. Disponível em: <http://www.nssga.org/aftre/Symposium/2006-06.pdf>
Acesso: 11 Set. 2018

ELINWA, A.U.; EJEH, S.P. **Effects of the Incorporation of Sawdust Waste Incineration Fly Ash in Cement Pastes and Mortars**. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2004.

ELINWA, A.U.; MAHMOOD, Y.A. **Ash from timber waste as cement replacement material**. Cement and Concrete Composites, 2002.

ESTEVES, R. L. **Quantificação das Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas por Meio de Sensoriamento Remoto**. 2006, 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FÁTIMA, Maria. **Impactos da drenagem urbana na saúde pública em municípios de pequeno porte no estado do rio grande do norte, nordeste do brasil**. 2003. 250 p. Tese (Pós-Graduação) – Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2003.

FOELKEL, C. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto**: Resíduos Minerais. Eucalyptus Online Book. São Paulo, out. 2011. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf>. Acesso em: 8 julho 2018.

FRANCIS, A.M. **Early Concrete Buildings in Britain**. Concrete and Constructional Engineering, Londres, V.60, No2, Fev./1965. P.73 – 75.

GHAFOORI, N. **Development of No-Fines Concrete Pavement Applications**, *Journal of Transportation Engineering*, May/June 1995, Vol.126, No3, p. 283 – 288.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2006.

GOBBI, L. D. **Urbanização brasileira**. Globo Educação. 2015. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/urbanizacao/urbanizacao-brasileira.html>>. Acesso em: 24 abr. 2018

HENDERSON, V. **Pervious Concrete Pavement: An Integrated Laboratory and Field Study**. CivE 742. University of Waterloo, Ontário, Canadá. 2008.

HENDERSON, V.; TIGHE, S. L.; NORRIS, J. **Pervious Concrete Pavement**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. v. 2095, p. 13–21, Nov. 2009.

HOLTZ, Fabiano. **Uso do concreto permeável na drenagem urbana: análise e viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 118p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

HORTA, C. et al., J. **Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Pernambuco, 2010.

HUANG, B. WU, H. SHU, X. BURDETTE E.G. **Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete**. Elsevier Journal. Construction and Building Materials, 2009.

HUFFMAN, D. **Understanding Pervious Concrete**. In: The Construction Specifier.

HUMMEL, Alfred. **Prontuario Del Hormigon**. 2. ed. Barcelona: Editores Técnicos

Associados, 1966.

IBA 2014. **Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília: Iba, 2014. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 11 julho 2018.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=3&idnoticia=1766&t=censo-2010-populacao-brasil-190-732-694-pessoas&view=noticia:>>. Acesso em: 13 abril 2018

JOHN, V. M. et al. **Cinzas e Aglomerantes Alternativos**. Tecnologia e Materiais Alternativos de Construção. Unicamp, 2003.

LERNER, D.N., 1990. **Groundwater Recharge in Urban Areas in: Duisberg Symposium 1988**. Hydrology for urban planning – A guide book on the Hydrologic effects of urban land use. USGS circ. 554. 18p.

LI, J. **Mix Design of Pervious Recycled Concrete**. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance, and Testinf of Pavements. V. 195, n. 15, p. 103–108, Ago. 2009.

LIAN, C. ZHUGE, Y. **Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation**. Elsevier Journal Constrution and Building Materials, 2010.
M. Urban drainage specific climates: urban drainage in humid tropics. Paris: UNESCO. IHP-V. Technical Documents in Hydrology. No.40. v.I. cap.4, p 103 – 124.

MALHOTRA, V. M. et al. **Supplementary cementing materials for concrete**. Ottawa, Canada, 1987.

_____. **No-fines Concrete – Its Properties and Applications**. ACI Journal, Proceedings V.73, No 11, Nov./1976. p.628 – 644.

_____. **A Low-Cost Concrete Building**. Engineering News Record. 1969. p.62-63

MALHOTRA, V. M; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and Cementitious Materials**. Advances in Concrete Technology. Ottawa, Canada, 1996. 1v.

MALTZ, R. **Ampliação dos conceitos do ambientalista José Antonio Lutzenberger no tratamento de resíduos da Klabin Riocell**. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. Porto Alegre, 2003.

MARAGON, M. **Unidade 1 - Hidráulica Dos Solos**. UFJF: Mecânica dos Solos II, Faculdade de Engenharia – NuGeo/Núcleo de Geotecnia. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid01.pdf>. Acesso em 10 novembro 2018

MEHTA P.K.; MONTEIRO, P.J.M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**.

MENDONÇA, F. R. Vulnerabilidade e abordagem sócio ambiental urbana: uma reflexão a partir da RCM e de Curitiba. **Desenvolvimento e meio ambiente**. Curitiba: UFPR. n. 10, p 139-148, Oct. 2004

MONTEIRO, Anna Carolina. **Concreto Poroso: dosagem e desempenho**. 2010. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

MONTES, F. & HASELBACH, L. **Measuring Hydraulic Conductivity in Pervious Concrete**. Environmental Engineering Science. University of South Carolina, Columbia, v.23, n.6, p. 960 – 969, 2006.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, 2010. **Pervious Concrete**. Disponível em: www.perviouspavement.org. Acesso em: Abril de 2018.

NETTO, O.C. et. al. **Águas pluviais: questões para planejamento de sistemas de drenagem**. In: ANDREOLI, C.V.; WILLER, M. (Eds) Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Planejadas. Série Cadernos Técnicos Alphaville, 1. São Paulo: Alphaville Urbanismo S.A., p.102 – 115, 2005

NEVES, M.G.F. **Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana**. UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre. 2006. 228p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

PARKINSON, J. et. al. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**. In: Relatório do Workshop em Goiânia-GO, 2003. Goiânia: UFG, 2003.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 466 p.

PARKINSON, J. et. al. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**. In: Relatório do Workshop em Goiânia-GO, 2003. Goiânia: UFG, 2003.

POLASTRE, B E SANTOS, L.D. **Concreto Permeável**. 2006. Disponível em: <<http://www.usp.br>>

PORTO, M.F.A. 2001. **Water quality of overland flow in urban areas**. In: Tucci, C.E.

PORTO, M.F.A. e MASINI, L.S.2001.**Avaliação preliminar da carga difusa na bacia do rio Cabuçu de baixo**. I seminário de drenagem urbana do MERCOSUL/V seminário nacional de drenagem urbana: soluções para a drenagem urbana em países da América Latina. Livro de resumos. Porto Alegre: IPH/ABRH.

RBE: Revista Brasileira de Engenharia. **Caderno de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro, v.7, n.1, p.77 – 101, Jun.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 4. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2011. 260 p.

RIPPER, Ernesto. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1995. 253p. São Paulo: Pini, 1994.

ROSSETTO, Matheus. **Desenvolvimento de geopolímeros com a incorporação do lodo de estações tratamento de água**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

SCARATI MARTINS, J. R. **Programa de Capacitação em Drenagem Urbana e manejo Sustentável de Águas Pluviais – Gestão de Drenagem Urbana e Inovações Tecnológicas em Micro Drenagem – Apostila de Curso Volume II, (2006).** FCTH - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA.

SCHUELLER, T. 1987. **Controlling Urban Runoff: a Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.** Washington: Metropolitan Washington Council of Governments. 229p.

SILVEIRA, A.L.L. 2001. **Problems of urban drainage in developing countries.** In: International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, 1, 2001, Lyon. Novatech, p. 143 – 150.

SWAMY, R. N. et al. **Cement replacement materials.** Surrey University Press. London, 1986.

TARTUCE, R. GIOVANETTI, E. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland.** São Paulo. Pini/IBRACON, 1990.

TENNIS, P.D.; LEMING, M.L.; AKERS, D.J. **Pervious Concrete Pavements.** Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 36p., 2004.

TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, Vol.11. 393p, 2007.

_____. **Controle de enchentes.** In: TUCCI, C.E.M. (Org) **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS:ABRH: EDUSP. Cap.16, p.621 – 658. 1993.

_____. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 5 – 12, Jul/Dez. 1997

_____. **Urban drainage issues in developing countries.** In: TUCCI, 2001.

_____. et. al. **Avaliação do Impacto da urbanização nas cheias urbanas.** 1989

_____. **Controle do Impacto da Urbanização.** In: TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.; BARROS, M.T. (organizadores). **Drenagem Urbana.** 1995

_____. **Águas urbanas. Estudos Avançados,** v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 12.

UDOEYO, F.; DASHIBIL, P. **Sawdust Ash as Concrete Material.** Journal of Materials in Civil Engineering, 2002.

VIRGILI, G., & Rubin, G. (2006). **Orientation and mobility training for adults with low vision.** *Cochrane Database of Systematic Reviews*

VIRGILIS, Afonso Luís. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** 2009. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.