

**INSTITUTO DOCTUM DE CARATINGA
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**LARISSA CARVALHO SOARES TORRES
SAMIRA FERREIRA PENA**

**INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO (CERÂMICA VERMELHA) NA
CONFECÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL**

CARATINGA-MG

2019

**INSTITUTO DOCTUM DE CARATINGA
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**LARISSA CARVALHO SOARES TORRES
SAMIRA FERREIRA PENA**

**INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO (CERÂMICA VERMELHA) NA
CONFECÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades de Caratinga, como requisito para aprovação na disciplina TCC II, orientado pelo Prof. Thales Leandro de Moura.

Área de concentração: Pavimentação.

**CARATINGA
2019**

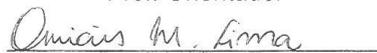
TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO (CERÂMICA VERMELHA) NA CONFECÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL, elaborado pelo(s) aluno(s) LARISSA CARVALHO SOARES TORRES e SAMIRA FERREIRA PENA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 02/12/2019


THALES LEANDRO DE MOURA
Prof. Orientador


VINÍCIUS MURILO
Prof. Avaliador 1


JOSÉ SALVADOR ALVES
Prof. Examinador 2

Dedicamos esse trabalho a nossos pais que sempre nos apoiaram em todos os momentos de nossa trajetória acadêmica, e nos deram força e suporte para alcançarmos nossos sonhos!

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a DEUS que nos fortaleceu em todos os momentos de nossas vidas, e nos concedeu a graça de poder concluir esse trabalho com êxito. Agradecemos também aos nossos professores que colaboraram com nossa formação acadêmica, e aos nossos amigos e familiares que sempre nos deram apoio nessa jornada.

RESUMO

Com a falta de planejamento cresce as áreas impermeáveis das cidades potencializando as inundações e enchentes e trazendo grandes danos a população e isso ocorre devido ao crescimento populacional, e com ele cresce também o número de resíduos sólidos que são descartados de maneira incorreta no meio ambiente. Com o intuito de reaproveitar resíduos provenientes da construção civil, este trabalho tem como objetivo de produzir um concreto permeável substituindo parte da brita por 10% de resíduo de cerâmica vermelha. Os resultados obtidos para resistência do concreto dosado com material reciclado foram satisfatórios, porém sua resistência foi menor que a do concreto permeável dosado com agregado natural, ainda sim atingiram os valores estipulados pela norma ACI 522R-06:2006.

Palavras-chave: Concreto permeável. Resíduo reciclado. Construção civil.

ABSTRACT

With the lack of planning grows the waterproof areas of cities enhancing floods and floods and bringing great damage to the population and this is due to population growth, and with it also grows the number of solid waste that is discarded incorrectly in the environment. In order to reuse waste from civil construction, this work aims to produce a permeable concrete replacing part of the gravel with 10% of red ceramic residue. The results obtained for resistance of concrete dosed with recycled material were satisfactory, but its resistance was lower than that of permeable concrete dosed with natural aggregate, yet reached the values stipulated by ACI 522R-06 :2006.

Key words: Permeable concrete. Recyclade waste. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de rompimento de concreto por tração direta	19
Figura 2.2: Bloco cerâmico de vedação	20
Figura 2.3: Bloco cerâmico estrutural	21
Figura 2.5: Processo erosivo	24
Figura 2.6: Assoreamento de rios	25
Figura 2.7: Canalização de córregos localizados no centro da cidade de Caratinga MG.....	27
Figura 2.8: Esquema de um modelo de telhado ecológico.....	28
Figura 2.9: Trincheira de infiltração	29
Figura 2.10: Peça de concreto permeável	30
Figura 2.11: Asfalto poroso.....	32
Figura 2.12: Blocos vazados	32
Figura 2.13: Blocos vazados	33
Figura 2.14: Blocos maciços de concreto.....	34
Figura 2.15: Blocos permeáveis	34
Figura 3.1: Cimento CII E 32.....	37
Figura 3.3: Material reciclado preparado para a mistura	39
Figura 3.4: Materiais usados para o traço 90% brita	41
Figura 3.5: Materiais usados para o traço 100% brita	41
Figura 3.6: Moldagem dos corpos de prova cilíndricos	43
Figura 3.7: Corpos de prova cilíndricos	44
Figura 3.8: corpos de prova prismáticos.....	44
Figura 3.9: Corpos de prova em câmara úmida	45
Figura 3.10: Molde para realização do Slump Test– Mold	47
Figura 3.11: Medição do abatimento	47
Figura 3.12: Procedimento de ensaio Abatimento do tronco de cone	48
Figura 3.13: Teste de permeabilidade	50
Figura 3.14: Equipamento utilizado para o ensaio de Tração na Flexão.....	53
Figura 3.15: Moldagem de corpos de prova prismáticos.	53
Figura 3.16: Preparação do corpo de prova para o ensaio	54
Figura 3.17: Corpos de prova prismáticos após rompimento	55
Figura 3.18: Rompimento de corpos de prova cilíndricos.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Tabela de resultados de permeabilidade e vasão.....	58
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Traço do concreto para confecção de corpos de prova prismático.....	40
Quadro 3.2: Traço do concreto para confecção de corpos de prova cilíndricos.	40
Quadro 3.3: Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio.....	42
Quadro 3.4- Número de camadas para moldagem de corpos de prova.....	43
Quadro 4.1: Tesde de absorção, índice de vazios e massa específica seca e saturada para traço 100% brita.	59
Quadro 4.2: Tesde de absorção, índice de vazios e massa específica seca e saturada para traço 90% brita.	59
Quadro 4.3: Resultados para traço 100% agregado natural	60
Quadro 4.4 - Resultado para tração com traço 10% de agregado reciclado	60
Quadro 4.5: Resultado para compressão axial para traço de concreto 90% brita....	61
Quadro 4.6: Resultado para compressão axial para traço de concreto 100% brita..	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Objetivos:	13
1.2.1 Objetivo Geral:	13
1.2.2 Objetivos Específicos:	13
1.3 Justificativa:	14
1.4 Estrutura do Trabalho:	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 O concreto	16
2.1.1 Dosagem do concreto	17
2.1.2 Resistência à Compressão do Concreto:	18
2.1.3 Resistência à Tração:	18
2.2 Cerâmica vermelha	19
2.2.1 Blocos cerâmicos.	20
2.3 Problemas causados pela urbanização	21
2.3.1 Inundações.....	22
2.3.2 Erosão do solo em decorrência da urbanização.	24
2.3.3 Assoreamento:.....	25
2.3.4 Impermeabilização do solo.....	26
2.4 Soluções para amenizar os problemas causados pela urbanização ...	26
2.4.1 Canalização de rios:.....	27
2.4.2 Telhado verde:	28
2.4.3 Trincheiras de infiltração:	28
2.4.4 Revestimento permeável:	29
2.4.4.1 <i>Concreto Poroso:</i>	29
2.4.4.2 <i>Asfalto poroso:</i>	30
2.4.4.3 <i>Blocos vazados:</i>	32
2.4.4.4 <i>Blocos Maciços:</i>	33
2.4.4.5 <i>Blocos Permeáveis</i>	34
2.5 Resíduos gerados pela construção civil	35
3 METODOLOGIA	37
3.1 Materiais utilizados para confecção da mistura de concreto permeável:	37

3.1.1	Cimento CII E 32	37
3.1.2	Água.....	38
3.1.3	Brita Zero	38
3.1.4	Material cerâmico reciclado:.....	39
3.2	Dosagem do Concreto:	40
3.3	Confeção da massa:.....	41
3.4	Confeção dos corpos de prova	42
3.5	Processo de Cura.	44
3.6	Ensaio:.....	45
3.6.1	Abatimento de tronco de cone (<i>Slump Test</i>):.....	45
3.6.2	Procedimento:	46
3.6.3	Ensaio de permeabilidade.....	48
3.6.3.1	<i>Procedimento:</i>	<i>49</i>
3.6.4	Teste de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada.	50
3.6.4.1	<i>Procedimento:</i>	<i>52</i>
3.6.5	Ensaio de tração na flexão.....	52
3.6.5.1	<i>Procedimento</i>	<i>54</i>
3.6.6	Ensaio de compressão axial.	56
3.6.6.1	<i>Procedimento</i>	<i>57</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.	58
4.1	Resultados do teste de abatimento <i>Slump Test</i>:.....	58
4.2	Resultado Para o Ensaio de Permeabilidade:.....	58
4.3	Resultado do teste de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada.....	59
4.4	Resultados do ensaio de tração na flexão.	60
4.5	Resultados do ensaio de compressão axial.	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nos dias atuais o crescimento urbano é constante e devem ser levados em consideração os impactos ambientais principalmente no solo, com as alterações nos cursos d'água e desmatamento. Um dos problemas que mais afetam as cidades são as inundações, causadas pela falta de escoamento pluvial. (SANTOS, 2017)

Com o modelo de pavimentações utilizado atualmente tem como consequência a impermeabilidade do solo, pois são usados materiais impermeáveis como o concreto asfáltico e concreto de cimento Portland, com isso, reduz o contato da água com o solo aumentando o volume dos escoamentos superficiais, tendo acréscimo nos resíduos sólidos e alteração na qualidade da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas (TUCCI; COLLISCHONN, 2008).

Buscando uma melhora da permeabilidade nos grandes centros, considera-se o uso do concreto permeável como forma de uma drenagem urbana sustentável, podendo fazer o reaproveitamento total ou parcial da água infiltrada (TUCCI; COLLISCHONN, 2008).

Junto com o crescimento urbano, são geradas grandes quantidades de resíduos sólidos provenientes de indústrias, domicílios e construção civil. Visando reduzir o impacto ambiental, junto ao concreto permeável, parte do agregado será reutilizado dos resíduos da construção civil. (SANTOS, 2017)

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo Geral:

Utilizar 10% de cerâmica vermelha reciclada, proveniente da construção civil, na produção de concreto permeável, para pavimentação em áreas de tráfego de veículos leves.

1.2.2 Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- a) Determinar o melhor traço para o concreto permeável, para uma mistura com 100 % agregado convencional e para uma mistura com uso de 10 % de agregado reciclado de cerâmica vermelha;
- b) Analisar se os traços estudados atingem os resultados estipulados em norma para resistência a compressão, resistência a flexão e permeabilidade do concreto permeável.
- c) Estudar os benefícios que a reutilização da cerâmica vermelha traz para o meio ambiente.
- d) Demonstrar por meio de ensaios laboratoriais a relevância do estudo realizado com o concreto permeável utilizando material cerâmico reciclado.

1.3 Justificativa:

Na atualidade ainda é notado a falta de planejamento de uma forma sustentável na construção civil, sendo assim, é de grande importância que sejam estabelecidas medidas específicas ligando o destino e o reuso dos resíduos da construção civil com a utilização de recursos que auxiliam e facilitam a permeabilidade nos centros urbanos, diminuindo os danos à sociedade e ao meio ambiente. (FERGUSON, 2005)

De acordo com Ferguson (2005) concreto permeável é um tipo especial de concreto usado principalmente em pavimentações composto por cimento, agregado graúdo, pouco ou nenhum agregado fino e água.

O concreto permeável tem alto índice de agregado graúdo, sendo assim, formam-se espaços vazios facilitando o escoamento da água para o solo.

Esse estudo busca verificar a utilização da cerâmica vermelha como agregado reciclado, proveniente de construção civil, na confecção do pavimento de concreto permeável verificando sua permeabilidade e resistência.

1.4 Estrutura do Trabalho:

O presente trabalho se encontra dividido em capítulos com finalidade de facilitar a compreensão do leitor, o conteúdo abordado por cada capítulo é descrito abaixo.

O capítulo um apresenta o assunto central do trabalho, mostrando os aspectos gerais da pesquisa, contextualiza de forma geral o tema do trabalho apresentando objetivos, justificativa, relevância do assunto tratado e a estrutura do trabalho.

No capítulo dois foi extraído através de pesquisa partes de ideias de vários autores que escreveram sobre o tema, expondo a fonte das ideias, reescrevendo-as em forma de paráfrase e citação direta. Esse capítulo serviu de base para o estudo.

O capítulo três expõe os métodos utilizados para investigação dos dados necessários para o estudo do concreto permeável, com objetivo de exemplificar na prática a eficiência do concreto permeável.

O capítulo quatro expõe os resultados extraídos dos ensaios realizados e especificados no capítulo três como forma de tornar verídico o que foi ensaiado e proposto pelo trabalho.

Por último o capítulo cinco traz discussões sobre os resultados relacionando-os a pesquisa que foi realizada e concluindo o assunto fazendo uma retomada ao tema e fechando com comentários sobre os resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As investigações feitas nesse estudo giram em torno de uma tecnologia sustentável, que é o concreto permeável. É importante conhecer um pouco mais sobre o que já foi estudado sobre esse pavimento, esse capítulo traz partes de estudos realizados sobre pavimentação permeável servindo como base para o desenvolvimento dessa pesquisa.

2.1 O concreto.

Racena (2011), define concreto como sendo a massa resultante de misturas com cimentos diferentes, possuindo características variadas, inclusive os que contém pozolana, cinza volante, escória de alto-forno, adições minerais, sílica ativa, agregados de concreto reciclado, aditivos polímeros e fibras.

Araújo (2014) menciona em seus estudos que o concreto é resultado da mistura de agregados naturais ou britados com cimento e água. E quando o objetivo é obter uma mistura para fins específicos podem ser acrescentados aditivos, como exemplos retardadores ou aceleradores de pega, entre outros que podem melhorar as características de trabalhabilidade do concreto. Segundo o autor, a resistência já é fruto da relação água cimento.

Junto ao concreto veio a união da duração da pedra com a alta resistência do aço, obtendo assim um material que consegue atingir formas diferentes em um intervalo de tempo menor. Os materiais compostos por material cimentício são considerados materiais de grande relevância descobertos pelo homem, pois com eles o homem chegou nas grandes obras que hoje são relevantes para a vida humana. Existe no mundo grande variedade de matéria prima que é utilizada para a confecção do cimento o que possibilitou a evolução de estudos com o concreto (NICOLA, 2010).

Nicola (2010) afirma ainda que o material mais consumido pelo homem depois da água é o concreto, e esse grande consumo se dá pela facilidade de encontrar as matérias-primas utilizadas na confecção do concreto, o que torna seu valor acessível, facilitando sua confecção. Mehta e Monteiro (2014) diz que anualmente são consumidos cerca de dezenove bilhões de toneladas métricas de concreto mundialmente, o concreto em seu estado fresco possui consistência e trabalhabilidade, o que o torna capaz de se adequar a variados formatos, e em seu

estado endurecido apresenta grande resistência a intemperes o que confia a ele ser uma mistura muito usada no mundo inteiro.

2.1.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto nada mais é que a determinação do traço que será utilizado na mistura. São utilizados parâmetros que possibilitam a confecção de misturas com mais ou menos argamassa e com agregados de maior ou menor diâmetro o que gera resultados diferentes nos ensaios de abatimento feitos com tronco de cone (RACENA, 2011). Essa dosagem é realizada de acordo com três parâmetros abaixo:

- a) **Trabalhabilidade:** Está diretamente ligada a facilidade com que o concreto pode ser manipulado, perdendo o mínimo possível de sua homogeneidade. Os fatores que estão ligados diretamente as propriedades da trabalhabilidade são: o traço do concreto, a consistência do mesmo, uso de aditivos, o transporte, o adensamento, entre outros. Não é fácil definir a trabalhabilidade de uma massa, ela pode apresentar consistência boa quando se trabalha em um piso por exemplo e ser péssima para concretar pilares. Cada tipo de concreto requer uma certa trabalhabilidade, que deve se adequar a cada situação determinada em projeto. (TUTIKIAN e HELENE, 2011).
- b) **Resistência Mecânica:** a resistência mecânica de concretos é um dos parâmetros mais frequentemente utilizado para a dosagem de concretos, com maior frequência de utilização a resistência à compressão, embora a resistência à tração tem grande relevância também inclusive quando se trata de pavimentação. Os métodos utilizados no brasil para obtenção e verificação da resistência a compressão de concretos são expostos por meio de métodos e ensaios devidamente descritos pelas ABNT NBR 5738:2003 e ABNT NBR 5739:2007, no procedimento de concreto ABNTNBR 12655:2006, no procedimento de projeto ABNT NBR 6118:2007 e no procedimento de execução ABNT NBR 14931:2004.(BETEZANI,2013).
- c) **Durabilidade:** o concreto é vulnerável a agentes externos que podem alterar sua composição física, trazendo sua deterioração ao longo de

seu tempo de vida útil, devido a isso a durabilidade do concreto ganhou espaço nos estudos acadêmicos e alguns conceitos básicos foram mudados, visando uma durabilidade maior dos concretos. Houve uma grande evolução nos estudos em relação a durabilidade do concreto possibilitando atualmente uma dosagem que confere a ele uma maior resistência a agentes externos que são causa de sua deterioração. É importante lembrar também que a durabilidade de um concreto muitas vezes dependerá de manutenções periódicas nas estruturas, o ambiente em que ele está implicará diretamente também em sua duração, e em alguns casos será necessário um sistema de proteção periódico (RACENA, 2011).

2.1.2 Resistência à Compressão do Concreto:

Quando a durabilidade do concreto é um fator que se sobrepõe a outros parâmetros a resistência à compressão se torna a característica mais importante nesse caso, embora o concreto possa ser dosado tendo por foco a resistência à tração por flexão ou compressão diametral, pela relação água cimento ou mesmo ainda pela quantidade de cimento. A resistência a compressão do concreto é facilmente descoberta através de ensaios laboratoriais feitos com corpos de provas cilíndricos, que são normatizados pela ABNT NBR 5738:2008 e ABNT NBR 5739:2007.

2.1.3 Resistência à Tração:

Para Pinheiro e colaboradores (2007) os conceitos referentes a resistência a tração direta são semelhantes aos conceitos expostos para determinação da resistência do concreto a compressão simples, por isso temos a resistência média do concreto à tração e a resistência característica do concreto a tração. A diferença do estudo da tração segundo o autor está nos tipos de ensaios, existem três tipos de ensaios normatizados atualmente, são eles: tração na flexão, compressão diametral e tração direta.

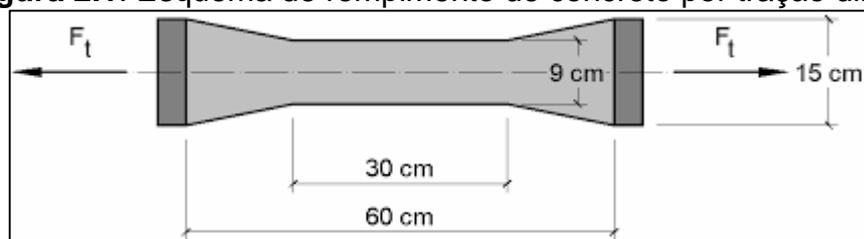
Farias e colaboradores, (2018) afirma que muitas vezes a característica do concreto em resistir a compressão seja dita como mais relevante do que a resistência a tração que é uma das mais importantes propriedades do concreto. Com o

conhecimento adequado sobre a tração consegue-se definir por estimativa a máxima carga suportada até chegar a fissuração do corpo de prova. A resistência a tração também está relacionada diretamente com a aderência entre armadura e concreto.

Luong (1990) relata em seu livro que a tração é um parâmetro muito importante quando falamos de pavimentação, principalmente quando se trata de estudar as características de materiais como pavimento asfáltico e concreto-cimento.

- a) Tração na flexão: a tração na flexão é medida através de ensaios realizados com corpos de provas prismáticos com dimensões determinadas pela ABNT NBR 5738:2015 e os métodos de ensaio são determinados pela ABNT NBR 12142:2010 pelo princípio da viga simplesmente apoiada. (PINHEIRO e colaboradores, 2007)
- b) Compressão diametral: os ensaios de compressão diametral foram desenvolvidos pelo Professor Lobo Carneiro (CARNEIRO, 1943). É um ensaio realizado com corpos de provas cilíndricos, ou seja, o mesmo formato de corpo de prova usado no ensaio para obtenção da resistência a compressão simples; o que facilita a execução do ensaio. Esse ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7222/2011(SANTOS, 2017).
- c) Tração Direta: é o ensaio de tração que mais se aproxima de valores reais de tração do concreto. O ensaio é baseado na aplicação de tração axial que é aplicada sobre o corpo de prova até que chegar à ruptura como ilustra a Figura 2.1.

Figura 2.1: Esquema de rompimento de concreto por tração direta



Fonte: Pinheiro (2004)

2.2 Cerâmica vermelha

Braga e colaboradores. (2016), determina que cerâmicas são todos os materiais originados pelo processo de queima compostos por materiais metálicos e

não metálicos, utilizados em revestimentos e estruturas na construção civil. A cerâmica vermelha se assimila aos produtos com as matérias-primas argilosas que tem como característica a coloração avermelhada.

2.2.1 Blocos cerâmicos.

Os blocos cerâmicos ou tijolos são materiais básicos para a construção civil, sendo para o uso principal na vedação e alvenaria. Tem boa aderência à argamassa, alta resistência a chamas e é um bom material para o isolamento térmico e acústico. A Figura 2.2 ilustra o bloco cerâmico. (BRAGA; e colaboradores 2016)

Figura 2.2: Bloco cerâmico de vedação



Fonte: C e C (2019)

De acordo com a ABNT NBR 15270:2017, bloco cerâmico é o componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces. Eles podem ser de paredes vazadas, de paredes maciças ou perfuradas como mostra a Figura 2.3.

Figura 2.3: Bloco cerâmico estrutural



Fonte: Engenharia Concreta (2017)

2.3 Problemas causados pela urbanização.

Muitas cidades brasileiras sofrem com o problema de enchentes e enxurradas um dos motivos que aumentam a frequência desse problema é a impermeabilização dos solos em áreas urbanas. A substituição da camada vegetal natural por superfícies impermeáveis e edifícios tem alterado juntamente com outros fatores, não só a quantidade, mas também a velocidade do escoamento superficial. O maior desafio da sociedade moderna atual é equilibrar o desenvolvimento das cidades com uma visão de sustentabilidade, e o agravante desse problema é o fato de a maioria das atividades humanas gerarem um conjunto complexo de impactos, que abrangem desde a alteração do solo até a contaminação de corpos hídricos por ações industriais e de descarte inadequado de esgotos; as grandes tragédias ambientais são causadas pela ausência de uma visão de desenvolvimento sustentável.(HÖLTZ,2011)

Sobre o crescimento da urbanização e os problemas ocasionados pela impermeabilização do solo Lúcio e Back (2016) afirmar que:

A urbanização do território e o conseqüente aumento da área impermeável da bacia provoca o aumento da vazão de escoamento, deixando a região ainda mais propícia a alagamentos. E este desenvolvimento urbano deve ser acompanhado pelas entidades responsáveis, analisando a necessidade de alterações no sistema de drenagem pluvial, evitando que o crescimento urbano seja prejudicial (LÚCIO E BACK, 2016)

O crescimento na maioria das cidades ocorre de forma desordenada sem um devido planejamento urbano, e é papel do engenheiro fazer seus projetos visando o

crescimento sustentável para as cidades, projetar pensando no crescimento futuro de uma determinada área. (LÚCIO; BACK, 2016)

Lúcio e Back (2016) afirma ainda que a ocupação urbana ocasiona a impermeabilização por meio de telhados, passeios, ruas, estacionamentos entre outros; alteram a qualidade do ciclo hidrológico o que resultam no aumento das enchentes e degradação da qualidade de águas pluviais, a drenagem das precipitações está sendo feita na maioria das vezes com maior rapidez para a jusante o que aumenta a frequência e magnitude de enchentes. O desenvolvimento urbano deve ser acompanhado por entidades responsáveis, visando estudar a necessidade de alterações nesse sistema de drenagem pluvial; evitando que o crescimento urbano seja um problema.

Na maioria das vezes os sistemas de drenagem atuais acabam causando grande impacto principalmente ambiental pois o problema está interligado à vários outros como poluição das ruas, obstrução das bocas de lobo por lixos descartados inadequadamente, construções bem próximas ao leito do rio, entre outros. Para o sistema de drenagem ser eficiente ele precisa funcionar sem produzir impactos a jusante ou no local. (STORCK,2017)

2.3.1 Inundações.

As inundações ocorrem quando a vazão aumenta relativamente, ultrapassando o limite dos cursos d'água. Esse é um fenômeno natural que é agravado por ações humanas. Todos os canais possuem uma área de várzea que é sempre alcançado pela cheia dos rios e nas áreas urbanas esse espaço na maioria das vezes é ocupado, outras ações humanas que aumentam a incidência das inundações é a impermeabilização do solo, o desnudamento e o desmatamento (SOUZA; OTTONI, 2015).

As mudanças no microclima das cidades é efeito também do processo de urbanização, os poluentes lançados pelas grandes indústrias, o desmatamento, a construção de várias edificações, impermeabilização do solo fazem os termômetros aumentarem aumentando a incidência das ilhas de calor fenômeno que intensificam os processos de condensação na atmosfera aumentando conseqüentemente a intensidade das chuvas. (MILANEZ; FONSECA, 2010)

O aumento das enchentes está diretamente ligado à velocidade superficial de escoamento da água causado pela impermeabilização do solo e também a poluição das ruas que ocasionam o entupimento das bocas de lobo, o esgoto descartado de forma inadequada e sem tratamento devido aos rios também aumentam os indícios das inundações. (SOUSA; GOLÇALVES, 2018)

A cobertura vegetal na maioria das cidades já foi substituída por construções impermeáveis, que contribuem diretamente para as mudanças que ocorre no ciclo natural da água, de maneira que alterou completamente o caminho percorrido pela água dentro do ciclo, corroborando para o aumento do escoamento superficial. (COOPER, 2013)

Quando em condições naturais o ciclo da água é equilibrado, devido a expansão urbana o sistema hidrológico sofre alterações que comprometem a qualidade da água que abastece os lençóis freáticos e aquíferos, esse fato é prejudicial a biodiversidade e também a sobrevivência humana. (ROSA, 2017)

O ciclo natural na água é alterado pelo homem sendo essa a causa da maioria das inundações nos centros urbanos, se não existissem essas interferências parte da água da chuva ficaria retida nas folhas e troncos, outra parte seria absorvida pelo solo com ajuda da vegetação, diminuindo muito o escoamento superficial, mas infelizmente a realidade nos grandes centros urbanos é outra(MOURA e colaboradores,2019).A Figura 2.4 mostra um exemplo de inundação, essa inundação ocorreu no ano de 2013 na cidade de Caratinga-MG.

Figura 2.4: Inundação na cidade de Caratinga, 2013.



Fonte: João (2013)

2.3.2 Erosão do solo em decorrência da urbanização.

A erosão do solo é um fenômeno natural, ocorre naturalmente pela ação da água corrente e do vento mas esse fenômeno é agravado pela ação humana, a impermeabilização do solo é um fator relevante quando se fala em erosão; à água que não consegue se infiltrar no solo ganha força em seu escoamento superficial aumentando seu potencial erosivo quando encontra com áreas de solo descoberto. A maioria das cidades sofrem com esse tipo de erosão, como resultado disso existem vários casos trágicos de erosões que causou muitas mortes, em alguns casos a erosão foi agravada pela habitação inadequada também o que é causa da falta de planejamento urbano das cidades que crescem e se expandem nas costas de rios e em lugares mais propícios a ocorrência de erosão e desmoronamento (Botelho e Silva, 2010).

Os processos erosivos são causados pela falta de planejamento urbano, junto com o crescimento urbano tem-se o aumento das áreas construídas e pavimentadas, o que aumenta drasticamente o volume das enxurradas e a velocidade de escoamento da água, e quando essa água não é drenada de forma correta acelera os processos erosivos (DE OLIVEIRA e colaboradores, 2011).

A Figura 2.5 mostra um exemplo de um processo erosivo intensificado pela ocupação inadequada:

Figura 2.5: Processo erosivo



Fonte: Bird (2015)

2.3.3 Assoreamento:

Ribeiro (2019) afirma que o assoreamento de rios nada mais é que o acúmulo de sedimentos nos leitos dos rios, materiais que são levados pela chuva como, areia, terra, rocha, lixo entre outros é também um processo natural que é intensificado pela ação humana no meio, em alguns casos o assoreamento se torna tão grave a ponto de chegar a extinguir um curso d'água. Uma das principais causas do assoreamento é a devastação da vegetação nas margens dos rios, com a retirada da vegetação que está na beira dos rios o solo e rochas que se encontram nas margens tem maior facilidade de descer para o leito nos períodos chuvosos, o depósito de lixos e resíduos de construção civil também é um grande intensificador do processo.

As consequências desse processo são a extinção da vida nos cursos d'água, intensificação das inundações urbanas, escassez de água para abastecimento das cidades. Esse processo pode ser amenizado pelo controle dos processos erosivos, reflorestamento de encostas, planejamento e construção de obras sustentáveis que possibilitem a permeabilidade da água no solo colaborando para diminuição da velocidade de vazão que provoca a erosão, fazer um trabalho de preservação nas cidades impedindo o lançamento de lixos e detritos às margens dos rios e fazer o tratamento correto do esgoto antes de lança-lo nos rios (RIBEIRO,2019).A Figura 2.6 traz um exemplo de assoreamento:

Figura 2.6: Assoreamento de rios



Fonte: Ribeiro (2019).

2.3.4 Impermeabilização do solo

Os recursos hídricos têm sido muito discutidos na atualidade, principalmente em áreas urbanas que são onde encontramos um alto índice de deterioração ambiental, e é onde se tem os maiores casos de inundações erosões e assoreamentos. Junto com a urbanização vem à impermeabilização do solo, ela está presente nos estacionamentos, vias pavimentadas e edificações, o que impede a absorção de água pelo solo; quando há a ocorrência de precipitações com volumes maiores de água o volume de água que escoar com alta velocidade para jusante é maior causando enchentes com frequência gerando danos sociais, ambientais, econômicos e políticos. (COOPER,2013)

Juntamente com a impermeabilização do solo vem outros fatores que alteram o ciclo hidrológico nos centros urbanos como o descarte inadequado de resíduos a ausência de tratamento de esgoto, falta da triagem do lixo, remoção da vegetação, obras de engenharia em canais fluviais, alterações morfológicas na topografia. Quando se compara a hidrologia de áreas rurais e urbanas observa-se uma enorme diferença entre essas duas e isso acontece devido as alterações humanas que são causas da ocupação. (ROSA, 2017)

2.4 Soluções para amenizar os problemas causados pela urbanização

Para resolver o problema das cheias existem as medidas de caráter estrutural que são aquelas que visam com a realização de obras de engenharia amenizar o problema imediatamente, ou seja são medidas que alteram as características originais dos cursos d'água visando o escoamento mais rápido da água no período de chuva, um exemplo é a canalização dos rios. As medidas não estruturais são aquelas que previnem esses problemas sem uma possível intervenção estrutural, pode ser um trabalho de cunho social, individual ou coletivo que promova ações sustentáveis no meio urbano que podem diminuir ou amenizar a maioria desses problemas. (PINTO, 2011)

De acordo com Pinto (2011), existe também as medidas compensatórias que são aquelas que promovem o armazenamento e infiltração da água da chuva, com o objetivo de aumentar a quantidade água nas sub-bacias diminuindo assim a quantidade e velocidade de fluxo de água corrente nos cursos diminuindo as

inundações. O concreto permeável é um exemplo de medida compensatória pois ele permite tanto a infiltração da água no solo como também a construção de sistemas de drenagem que captam essa água e a armazenam em reservatórios, o que diminui as enchentes e, conseqüentemente, diminui também os processos erosivos que são causados por estas.

2.4.1 Canalização de rios:

O crescimento populacional trouxe muitos problemas ambientais, a canalização de rios e córregos em áreas urbanas é uma medida estrutural que visa aumentar a capacidade e velocidade de vazão dos cursos d'água, muitas vezes essa medida não é tão eficaz pois ela só ameniza e transfere o problema para a jusante. As obras são executadas com intuito de ampliar a ocupação nas áreas de margem dos rios, aumentar a capacidade dos canais e a eficiência do escoamento, porém na maioria das vezes essas medidas são custosas e não resolvem de tudo o problema, podendo ao invés de combater as inundações apenas transferi-las de um local para outro (ASSUMPÇÃO e MARÇAL, 2012). A Figura 2.7 mostra um exemplo de canalização de um curso d'água na cidade de Caratinga-MG.

Figura 2.7: Canalização de córregos localizados no centro da cidade de Caratinga-MG.



Fonte: Caratinga (2013).

2.4.2 Telhado verde:

O telhado verde é uma construção sustentável, e pode ajudar diminuir problemas ambientais como enchentes, além de promover o reaproveitamento da água da chuva e armazenando para o uso da própria edificação, além disso funciona ainda como isolante térmico e acústico e se for usado em maior escala nas cidades pode promover a diminuição dos alagamentos devido ao fato de absorver a água da chuva. Esse tipo de telhado também age como purificador da poluição urbana, (YUDELSON,2013). A Figura 2.8 mostra um modelo de telhado ecológico.

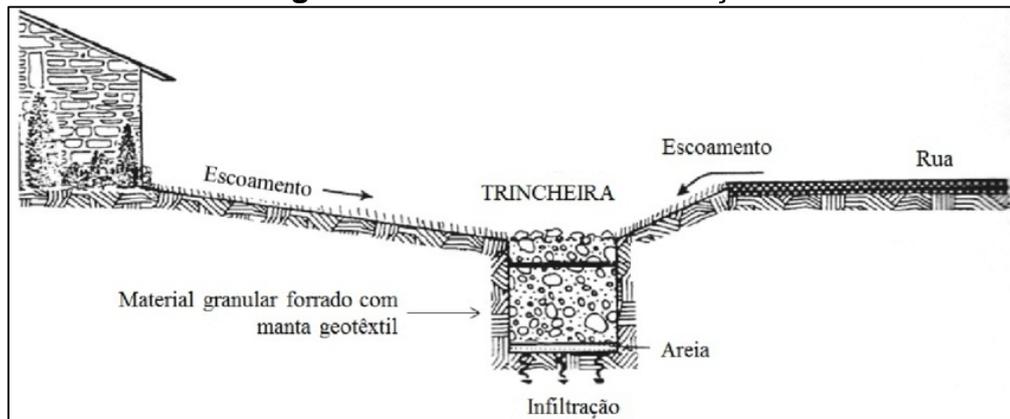
Figura 2.8: Esquema de um modelo de telhado ecológico.



Fonte: Eco Telhado (2018)

2.4.3 Trincheiras de infiltração:

Trincheiras de infiltração são estruturas laterais as vias de tráfego, implantadas na superfície ou a uma pequena profundidade, geralmente possuem grande dimensão longitudinal, capta a água da chuva, favorece a infiltração ou pode também armazenar essa água por um tempo determinado, geralmente são revestidas de materiais que possibilitam a infiltração da água no solo. O asfalto poroso é um tipo de revestimento usado nas trincheiras de infiltração (Brito, 2006). A Figura 2.9 mostra um exemplo de como esse sistema funciona.

Figura 2.9: Trincheira de infiltração

Fonte: Schueler - Adaptada (1987)

2.4.4 Revestimento permeável:

O revestimento permeável é aquele que possibilita a infiltração da água no solo sendo através dele mesmo ou dando espaço para que a água percole por suas juntas, ou seja, o material que compõe o revestimento nem sempre tem que ser feito de material poroso, mas de alguma maneira ele deve permitir boa permeabilidade vamos falar um pouco mais dos tipos de revestimentos desse tipo que existem e já são usados no mercado há algum tempo. (COOPER, 2013)

O principal objetivo da utilização do pavimento permeável em áreas urbanas é reduzir a vazão superficial das águas das chuvas que acabam muitas vezes trazendo grandes prejuízos às cidades com as inundações; nesse capítulo vamos estudar um pouco mais sobre a funcionalidade e eficiência do pavimento permeável na redução do escoamento superficial. (HÖLTZ, 2011)

2.4.4.1 Concreto Poroso:

Os problemas de inundações urbanas podem ser amenizados com uso do concreto permeável que é uma tecnologia que permite a infiltração da água no solo reduzindo o escoamento superficial, contribuindo com a recarga dos lenções freáticos e ainda reduz as ilhas de calor que temos nos grandes centros urbanos o concreto poroso é um sistema de drenagem urbana sustentável. (SANTOS, 2017)

Esse tipo de concreto segundo a ABNT NBR 16416 tem como opção ser moldado em loco ou pode ser feito de peças de concreto pré-moldadas, é um sistema

inteligente, mas que pode durar menos que o concreto convencional, podendo durar cerca de dez anos sem perder sua forma estrutural, mas é importante ter o cuidado e manutenção para que não haja entupimento de seus vazios o que causa a deterioração desse concreto ainda mais rápido. (HÖLTZ, 2011).

O objetivo é conseguir um índice de vazios de 15% a 25%, para isso esse tipo de concreto é confeccionado com uma pequena fração de areia. Sua resistência é inferior ao concreto convencional devido ao seu maior número de vazios o que o caracteriza como concreto permeável e devido a isso é usado em locais de tráfego leve. É um concreto que pode ser dosado também apenas com agregado graúdo cimento e água quando se deseja um índice maior ainda de vazios (GONÇALVES; OLIVEIRA, 2014). A Figura 2.10 traz um exemplo de uma peça de concreto permeável.

Figura 2.10: Peça de concreto permeável



Fonte: Tecnosil (2018).

2.4.4.2 *Asfalto poroso:*

É um asfalto com as mesmas características de permeabilidade do concreto permeável, podemos dizer que é similar ao asfalto convencional, diferenciando-se apenas no tipo de agregado usado retirando a parcela de areia fina visando maior número de vazios em seu interior. O que difere o concreto poroso do concreto convencional é o aumento do tamanho granulométrico, utilizando agregados com diâmetros maiores, quanto maior o índice de vazios mais permeabilidade é conferida

ao asfalto. Uma grande vantagem desse tipo de pavimentação é a maior aderência dos pneus dos veículos ao asfalto e a redução de barulhos resultantes do contato pneu e asfalto (CASTRO, 2015).

A preparação do solo é a etapa principal de todo um processo de pavimentação asfáltica, sendo para qualquer tipo de asfalto, é a última camada do sistema de pavimentação é a parte que está em contato direto com os veículos e precisa dar condições favoráveis para o motorista dirigir de forma segura e confortável (BETUSEAL, 2015).

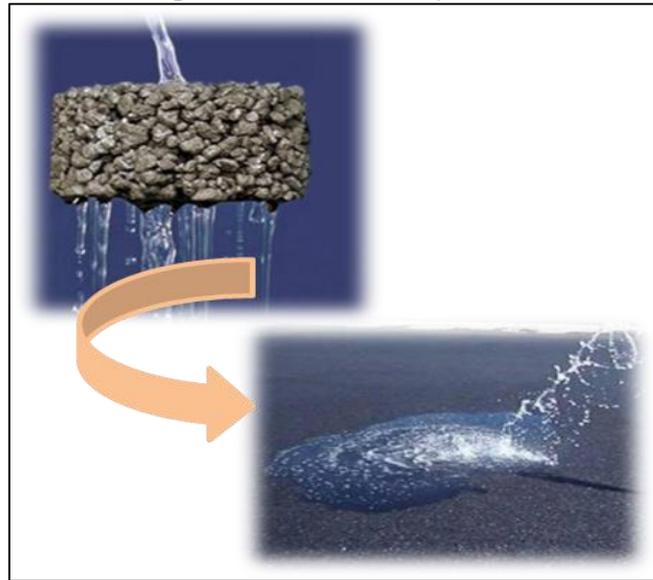
O traço para a confecção do concreto asfáltico é dosado a partir de um princípio de quantidade de vazios, se é preciso fazer um concreto mais resistente o nível de permeabilidade será menor e vice-versa. A escolha do material ligante também interfere na resistência do asfalto; é de extrema importância que haja um estudo rigoroso de tráfego e o uso inadequado com sobrecargas elevadas podem diminuir o tempo de duração do asfalto poroso (CASTRO, 2015).

Um ponto negativo que deve ser levado em consideração para esse tipo de pavimento é o fato de o alto índice de vazios proporcionar danos pela ação da própria água que percola pelo interior do asfalto ocasionando separação de agregado, esse dano pode ser evitado aumentando a espessura da película ligante para esse caso. fato que contrapõe bastante o uso do asfalto permeável é o alto custo para seu preparo, além de gastar com a preparação do solo existe um gasto maior com a construção de um reservatório por onde a água vai percolar até chegar a seu destino que é o solo; e tudo deve ser feito de forma que o solo absorva a água em quantidade necessária a ponto de preservar a resistência do solo. (PERRONE E SOUZA, 2019)

É indispensável a manutenção periódica nesse tipo de asfalto, assim como em qualquer tipo de pavimentação permeável, para evitar assim obstruções nos poros do asfalto que podem ser causadas por sujeiras que são trazidas pela própria chuva, como pedaços de terra, areia entre outros. (MAROTTA, 2012)

A Figura 2.11 mostra um exemplo de asfalto permeável, vem sendo muito utilizado em estacionamentos.

Figura 2.11: Asfalto poroso



Fonte: Marotta (2012)

2.4.4.3 Blocos vazados:

Os blocos vazados são aqueles que a percolação da água ocorre através de aberturas características desse concreto podendo ser aberturas cobertas ou não por algum tipo de vegetação rasteira. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). A Figura 2.12 mostra um exemplo do pavimento em um estacionamento, área de trânsito leve.

Figura 2.12: Blocos vazados



Fonte: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (2012)

Esse tipo de revestimento também é chamado de piso ecológico vem sendo muito utilizado na atualidade para pavimentação de estacionamentos, e calçadas. Existe também vários outros modelos de blocos vazados de concreto que são preenchidos por brita ou outro tipo de material poroso que substitui a vegetação como é ilustrado na Figura 2.13. (VIRGILIIS, 2009)

Figura 2.13: Blocos vazados



Fonte: Marchiori e Silva (2016)

2.4.4.4 Blocos Maciços:

O próprio nome já define esse tipo de bloco, é um material inteiriço não poroso, feito de concreto convencional, a percolação da água nesse caso se dá através de suas juntas que são feitas com espessura adequada para garantir o travamento do pavimento e a percolação da água, podendo ser preenchidas por brita ou não, possibilitando a infiltração de água no solo, a Figura 2.14 mostra um exemplo de bloco maciço intertravado, mas existem vários outros modelos de blocos maciços no mercado. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015)

Figura 2.14: Blocos maciços de concreto



Fonte: Pereira (2018)

2.4.4.5 Blocos Permeáveis

Os blocos permeáveis são blocos feitos de concreto permeável, blocos porosos, onde ocorre a percolação da água através do próprio bloco como mostra a Figura 2.15: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015)

Figura 2.15: Blocos permeáveis



Fonte: Rhino Pisos (2019).

2.5 Resíduos gerados pela construção civil

Os resíduos provenientes da construção civil, são resultado de produtos gerados através de matéria prima retirada da própria natureza e é modificada pelo homem afim de atender o mercado industrial da construção civil que movimenta a economia regional (KARPINSKI e colaboradores, 2009).

Na maioria das vezes esses resíduos são descartados novamente para natureza de uma forma inadequada trazendo prejuízos ao meio ambiente, e muitas vezes também são reciclados por processos que geram outros tipos de poluentes ao meio ambiente, então a reciclagem desses resíduos deve ser feita de forma não gerar mais poluição (CASTRO, 2013).

No Brasil a reciclagem de resíduos oriundos da construção civil é pouca, e isso se dá pelo fato do Brasil ser um país rico em matéria prima natural, mas em algumas regiões do país em que há escassez da matéria prima é preciso fazer o transporte de grandes distâncias. A participação das empresas de fabricação e de transporte do material produzido nas indústrias é de pequena escala, a maioria delas se preocupam apenas em transportar os resíduos gerados pelas obras para locais onde será feito o descarte, que é feito na maioria das vezes em aterros (HADDAD NETO, 2012).

O CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), é o órgão responsável por criar normas que estão diretamente ligadas a preservação do meio ambiente diante dos resíduos sólidos que são descartados no mesmo. O órgão foi criado em 1982 pela lei nº6.938/81 que estabelece Política Nacional do Meio Ambiente foi criado para dar apoio ao governo, criando caminhos e soluções e mostrando decisões a serem tomadas que preservem o meio ambiente e os recursos naturais (SILVA e colaboradores, 2017).

O mercado da construção civil é bem assinalado quando se fala de geração alta de resíduos, resíduos esses que raramente são descartados de maneira correta no meio ambiente, sem contar que outros produtos que são usados na construção são grandes poluidores o cimento por exemplo é um produto com alto índice de poluição em seu processo de fabricação (VISINTAINER e colaboradores, 2012).

Muito é falado sobre a geração de poluentes pela construção civil, e devido a isso surgiram vários estudos incorporando a reutilização de materiais que antes eram descartados no meio ambiente e agora são usados como agregados nas obras, ainda podemos ver essa reutilização em um número bem pequeno pois essa iniciativa gera

custos maiores e um pouco mais de estudos para criação de uma estrutura feita de material reciclado (SILVA e colaboradores, 2017).

A granulometria é um fator de grande influência da trabalhabilidade e resistência do concreto permeável por isso deve ser estudado bastante seu processo de dosagem, os agregados reciclados têm uma composição geralmente mais grossa se comparada a agregados naturais (VIDAL, 2014).

3 METODOLOGIA

O objetivo principal desse capítulo é demonstrar os métodos de ensaio e procedimentos que foram usados para realização dos mesmos, realizados com intuito de investigar a fundo as características do concreto permeável dosado com agregado reciclável.

A pesquisa pode ser classificada como estratégica, descritiva, exploratória e de abordagem quantitativa (BAUER e GASKEL, 2000).

3.1 Materiais utilizados para confecção da mistura de concreto permeável:

3.1.1 Cimento CII E 32

O CII E 32 é um cimento indicado para concretos estruturais e convencionais (lajes, vigas e pilares) argamassas (chapisco e revestimentos) concreto para pisos industriais e pavimentos, fibrocimento (caixas-d'água e telhas). (CIMENTO MONTES CLAROS, 2018)

É um cimento que contém adição de escória de alto forno, o que faz ser um cimento de baixo calor de hidratação, é composto de 94% À 56% de clínquer + gesso e 6% à 34% de escória, podendo ter ainda adição de material carbonático. A Figura 3.1 ilustra o tipo de cimeto usado.

Figura 3.1: Cimento CII E 32



Fonte: Cimento Montes Claros (2018)

3.1.2 Água

A água além de ser um elemento vital para o homem, ela é vital também para as misturas de concreto, é um dos principais materiais usados na engenharia civil, está presente em quase todas as etapas de construção de uma obra, é o solvente universal que influencia na qualidade e segurança da obra, para a determinação do traço ideal. A água é o componente essencial nessa etapa, sua dosagem influencia diretamente na resistência final do concreto (FILHO NETO, 2013).

A resistência que se deseja alcançar em uma mistura de concreto deve ser estudada juntamente com a relação água/cimento, que influencia diretamente nessa característica do cimento, a água tem por função hidratar o cimento possibilitando a consistência desejada da mistura, mas deve ser dosada em medidas específicas para cada mistura. A relação água/cimento é obtida pela divisão da quantidade de água medida em litro pela quantidade de cimento em quilogramas (CIMENTO MAUÁ, 2019).

3.1.3 Brita Zero

A ABNT NBR 7211:2019, as britas utilizadas na composição do concreto são classificadas de acordo com sua granulometria sendo assim temos a brita 0,1,2,3,4 e o pó de brita.

A brita nada mais é que “fragmentos de rochas duras e maiores, como granito, gnaisse, calcário e basalto por exemplo, que foram detonadas com dinamite nos maciços rochosos.” (MAPA DA OBRA, 2016)

A Figura 3.2 mostras a brita zero utilizada na confecção do traço do concreto em estudo nesse trabalho.

Figura 3.2: Brita Zero



Fonte: Os Autores.

3.1.4 Material cerâmico reciclado:

O material reciclado foi o tijolo descartado de obras vizinhas, foi utilizado como agregado graúdo, substituindo uma determinada porcentagem de brita pelo material reciclado. Para obter resultados satisfatório o material reciclado foi peneirado ficando com o mesmo diâmetro de granulometria da brita zero. A Figura 3.3 mostra o material limpo e peneirado.

Figura 3.3: Material reciclado preparado para a mistura



Fonte: Os Autores

3.2 Dosagem do Concreto:

Ao confeccionar os traços para o concreto permeável é necessário um cuidado especial pois é um concreto com um índice de vazios maior o que pode afetar em sua resistência e por isso o traço tem que ser bem dosado para chegar a resultados satisfatórios. E ainda não existe norma que determine um traço característico para cada concreto específico, devido a isso são usados métodos empíricos para determinação do traço (CASTRO,2015).

Castro (2013) ainda afirma que a relação água/cimento é importantíssima também quando se trata de consistência da mistura. De acordo com pesquisas realizadas sobre o assunto e os estudos de Castro (2013) determinou-se para esse estudo uma relação água/cimento de 0,4 para que a mistura atingisse a consistência desejada.

A determinação do traço para o concreto permeável com adição de material cerâmico foi baseada nos estudos de Santos (2017). Os Quadros 3.1 e 3.2 determinam exatamente como foi dosado a mistura estudada em questão.

Quadro 3.1: Traço do concreto para confecção de corpos de prova prismático

Traço 1:5 - para 6 corpos de prova prismáticos					
Composição	Cimento (kg)	Agregado graúdo (kg)	Agregado reciclado (kg)	Água (kg)	Relação água/cimento
Brita 0	7,5	37,5	0	3	0,4
Brita 0 + tijolo	7,5	33,75	3,75	3	0,4

Fonte: Os Autores

Quadro 3.2: Traço do concreto para confecção de corpos de prova cilíndricos.

Traço 1:5 - para 6 corpos de prova cilíndricos					
Composição	Cimento (kg)	Agregado graúdo (kg)	Agregado reciclado (kg)	Água (kg)	Relação água/cimento
Brita 0	4	20	0	1,6	0,4
Brita 0 + tijolo	4	18	2	1,6	0,4

Fonte: Os Autores

3.3 Confeção da massa:

Primeiramente o cimento e os agregados foram selecionados, o material cerâmico reciclado foi limpo e quebrado manualmente, afim de se obter uma granulometria similar ao da brita zero, peneirando o material. Logo em seguida peneirou-se a brita também, com objetivo de retirar um pó que havia em meio a ela, mediu-se então todos os materiais pesando-os de acordo com o traço determinado.

As Figuras 3.4 e 3.5 mostram os materiais que foram usados para a confecção do concreto permeável.

Figura 3.4: Materiais usados para o traço 90% brita



Fonte: Os Autores

Figura 3.5: Materiais usados para o traço 100% brita



Fonte: Os Autores

3.4 Confeção dos corpos de prova

Foram confeccionados no total doze corpos de prova prismáticos e dezoito corpos de prova cilíndricos para realização do estudo em questão. A mistura foi realizada de acordo com traço determinado e foi feita em duas etapas, devido ter sido rolada manualmente, pela falta do aparelho betoneira no instante do ensaio no laboratório.

Os corpos de prova foram moldados seguindo os procedimentos descritos pela ABNT NBR 5738:2015, para os corpos de prova cilíndricos utilizou-se as dimensões 10 cm de diâmetro para 20 cm de altura, respeitando o que diz a norma, que a dimensão da altura deve ser o dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm.

Para os corpos de prova prismáticos também seguindo os requisitos da ABNT NBR 5738:2015 as dimensões foram obedecidas como mostrado no Quadro 3.3, retirado da norma. Os corpos de prova foram confeccionados nas medidas de 100 mm de altura 100 mm largura e 400 mm de comprimento.

Quadro 3.3: Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio

DIMENSÃO BÁSICA (mm)	COMPRIMENTO MÍNIMO (mm)	VÃO DE ENSAIO ^a (mm)
100	350	300
150	500	450
250	800	750
450	1400	1350

^a Conforme ABNT NBR 12142

Fonte: ABNT NBR 5738 - Adaptada (2015)

O processo de moldagem dos corpos de prova foi feito por camadas e vibrados com uma haste metálica de 600 mm como é recomendado pela ABNT NBR 5738:2015, o Quadro 3.4 retirado da norma determina a quantidade de golpes necessários para vibrar cada corpo de prova.

Quadro 3.4- Número de camadas para moldagem de corpos de prova.

TIPOS DE CORPO DE PROVA	DIMENSÃO BÁSICA (d) mm	NÚMERO DE CAMADAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE ADENSAMENTO		NÚMERO DE GOLPES PARA ADENSAMENTO MANUAL
		MECÂNICO	MANUAL	
CILÍNDRICO	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
PRISMÁTICO	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

b Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior o mais próximo.
c No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: ABNT NBR 5738 – Adaptada (2015)

A Figura 3.6 ilustra a moldagem dos corpos de prova cilíndricos. A quantidade de golpes foi determinada de acordo com o Quadro 3.4, duas camadas sendo doze golpes por cada camada.

Figura 3.6: Moldagem dos corpos de prova cilíndricos

Fonte: Os Autores

A Figura 3.7 ilustra os corpos de prova cilíndricos após o adensamento.

Figura 3.7: Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Os Autores

A Figura 3.8 ilustra os corpos de prova prismáticos, após o adensamento.

Figura 3.8: corpos de prova prismáticos



Fonte: Os Autores

3.5 Processo de Cura.

Após os corpos de prova serem moldados foram deixados em uma superfície lisa e plana protegidos de intemperes durante 24h para corpos cilíndricos e 48h para

os corpos de prova prismáticos, respeitando assim seu processo de cura inicial para iniciar a desmoldagem dos corpos.

Feito a desmoldagem após o período de cura inicial os corpos de prova foram colocados em câmara úmida com temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ para realização de seu processo de cura total. A Figura 3.9 ilustra esse processo.

Figura 3.9: Corpos de prova em câmara úmida



Fonte: Os Autores.

3.6 Ensaios:

3.6.1 Abatimento de tronco de cone (*Slump Test*):

O *Slump* é um teste normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira (NBR) Norma Mercosul (NM) 67/1998. Tem como objetivo analisar a consistência do concreto fresco, por meio da medida do assentamento adquirido através do experimento em questão.

Para realização do ensaio utiliza-se um molde de metal de espessura igual ou superior a 1,5 milímetros (mm), no formato de um tronco de cone oco, com dimensões de: diâmetro da base inferior igual a 200mm, diâmetro da base superior igual a 100mm e altura de 300mm.

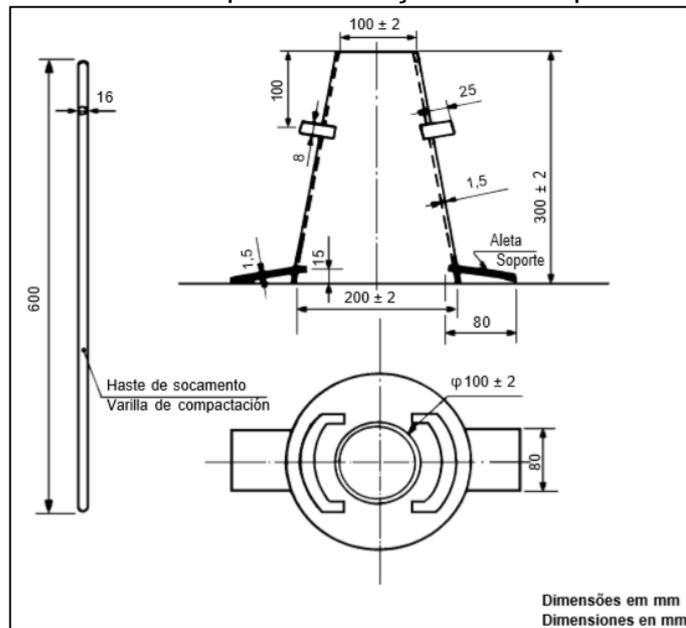
É usado também uma haste de 16mm de diâmetro 600 mm de comprimento de extremidades arredondadas, usa-se também uma placa metálica plana quadrada ou retangular, com espessura igual ou superior a 3mm de lado e dimensão superior a 500 mm.

3.6.2 Procedimento:

Primeiro passo a ser feito é umedecer o molde e a placa de base, colocando o molde sobre a placa, posicionando os pés no apoio do molde enquanto é realizado o preenchimento do molde, encher o molde rapidamente de forma preenchê-lo em três camadas e cada camada com aproximadamente um terço da altura do molde, para cada camada realizar doze golpes com a haste metálica com objetivo de preencher por completo o molde evitando vazios indesejados.

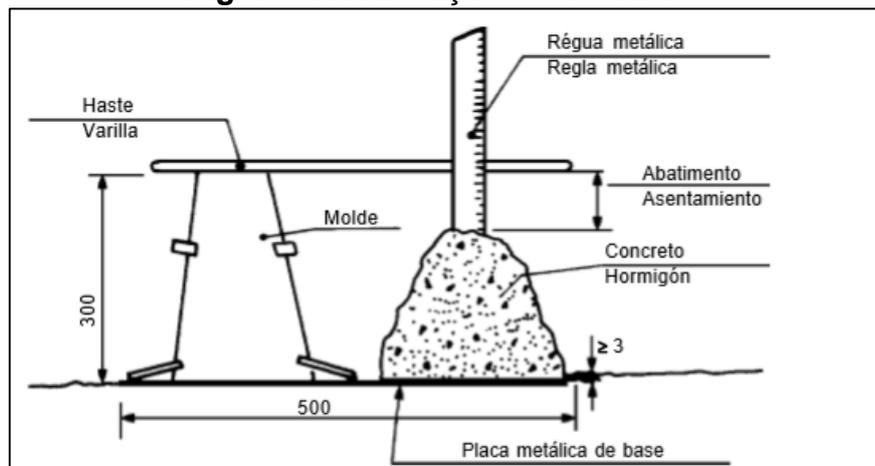
Após o molde estar preenchido remover o excesso de concreto rolando a haste por sua superfície, levantar com cuidado o molde a operação total do ensaio desde a hora da moldagem até a desmoldagem não deve ser interrompido e deve ser feito num tempo de 150s, medindo imediatamente o abatimento. Para fazer a medição basta posicionar a haste no topo do molde e posicioná-lo ao lado do corpo de prova medindo com auxílio de uma régua ou trena o comprimento entre o topo do corpo de prova e a haste. A Figura 3.10 ilustra melhor os instrumentos utilizados na realização desse ensaio e a Figura 3.11 exemplifica como fazer a medição do abatimento.

Figura 3.10: Molde para realização do Slump Test– Mold



Fonte: ABNT NBR NM 67 (1998.)

Figura 3.11: Medição do abatimento



Fonte: ABNT NBR NM 67/1998.

O ensaio foi realizado com as duas misturas de concreto para determinação do abatimento da massa de concreto permeável 100% brita e pra massa de concreto dosada com 10% de agregado cerâmico reciclado seguindo os procedimentos descritos acima. A Figura 3.12 ilustra o processo de realização do ensaio:

Figura 3.12: Procedimento de ensaio Abatimento do tronco de cone



Fonte: Os Autores

Se houver desmoronamento ou deslizamento da massa de concreto quando o corpo de prova for desmoldado impedindo a medição do abatimento, é necessário realizar o ensaio pela segunda vez com outra porção da amostra e se ainda sim houver o mesmo desmoronamento, considera-se que o concreto não tem coesão necessária para aplicação do ensaio de abatimento.

3.6.3 Ensaio de permeabilidade.

Esse ensaio é um dos ensaios essenciais para a realização desse estudo, pois o foco principal é o estudo de uma mistura de concreto permeável e para isso é de extrema importância ter resultados positivos ao final dos testes de permeabilidade, para o concreto permeável é estabelecido pela ABNT NBR 16416:2015 que o índice de permeabilidade tem que atingir valores maiores que 10^{-3}m/s .

Esse ensaio é normatizado pela ABNT NBR 16416:2015 e consiste em determinar o índice de permeabilidade para o concreto permeável usando como base de cálculo a Equação 3.1.

$$K = \frac{C \cdot m}{d^2 \cdot t} \quad (3.1)$$

Onde:

K é o coeficiente de permeabilidade expresso em mm/h.

m é a massa de água infiltrada expressa em kg.

d é o diâmetro do cilindro de infiltração expresso em mm.

t é o tempo necessário para toda água percolar expresso em s.

C é o fator de conversão de unidades do SI, de valor igual a 4 583 666 000.

Determinou-se também a vazão das amostras ensaiadas utilizando a equação 3.2:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.2)$$

Onde:

Q = Vazão (l/s)

V = Volume (l)

t = Tempo (s)

Para realização do ensaio foram moldados duas placas de concreto uma com concreto convencional e uma de concreto com agregado reciclado de cerâmica, seguindo os requisitos dispostos na ABNT NBR 16416:2015.

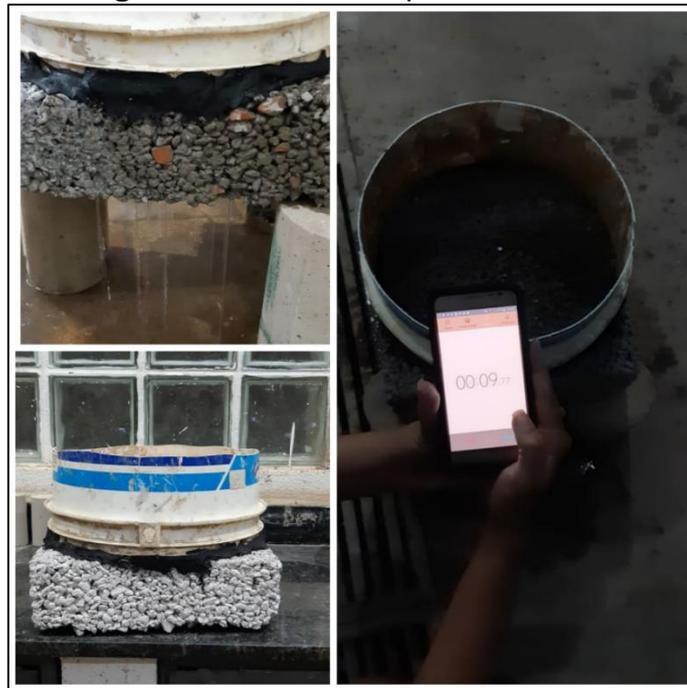
Utilizou-se também uma escova de lavar roupas para a limpeza da superfície dos blocos, um balde com capacidade de armazenamento de 20l de água, outro balde de diâmetro 300mm que foi adaptado e usado como anel de infiltração, cronômetro (celular) e uma balança de precisão e massa de calafetar.

3.6.3.1 Procedimento:

Primeiramente foi feita a limpeza do bloco visando tirar qualquer sujeira que poderia estar alojada nos poros do concreto, com o auxílio da massa de calafetar foi fixado o balde que previamente foi cortado com altura adequada para realização do ensaio respeitando a altura de 10 a 15 mm das marcas a serem feitas na parte inferior

do anel de infiltração (balde cortado) em que a água deve permanecer durante a realização do ensaio, o outro balde foi cheio por uma massa de 20kg de água e despejada respeitando a marcação feita o procedimento foi cronometrado para o cálculo dos resultados finais como mostra a Figura 3.13.

Figura 3.13: Teste de permeabilidade



Fonte: Os Autores

3.6.4 Teste de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada.

O Ensaio é normatizado pela ABNT NBR 9778:2005 corrigida em 2009, foi realizado com finalidade de descobrir o índice de vazios do concreto em estudo, sabendo que o concreto permeável tem por característica um alto índice de vazios devido a abertura dos poros, também será obtido nesse processo de ensaio valores de absorção para as amostras estudadas, massa específica seca e saturada.

Para a realização do teste utilizou uma balança hidrostática de precisão para realizar a medição das massas, estufa para a secagem das amostras e um tanque para imersão das amostras. Os resultados foram obtidos de acordo com as seguintes equações:

Para absorção de água por imersão temos a Equação 3.3. Resultado obtido em porcentagem.

$$A = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (3.3)$$

Para Índice de vazios temos a Equação 3.4. Medidas em porcentagem. Resultado obtido em porcentagem.

$$I_n = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \right) \cdot 100 \quad (3.4)$$

Para massa específica da amostra seca temos a Equação 3.5. Resultado obtido em g/cm³.

$$P_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (3.5)$$

Para massa específica da amostra saturada temos a Equação 3.6: Resultado obtido em g/cm³.

$$P_{sat} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad (3.6)$$

Para massa específica real da amostra temos a Equação 3.7. Resultado obtido em g/cm³.

$$P_r = \frac{M_s}{M_s - M_i} \quad (3.7)$$

Onde:

A = É absorção de água por imersão

I_n = Índice de vazios

P_s = Massa específica da amostra seca

P_{sat} = Massa específica da amostra saturada

M_s = Massa imersa

M_{sat} = Massa saturada

M_i = Massa imersa em água

3.6.4.1 Procedimento:

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos de acordo com a ABNT NBR 5738 para cada traço estudado, para realização do teste.

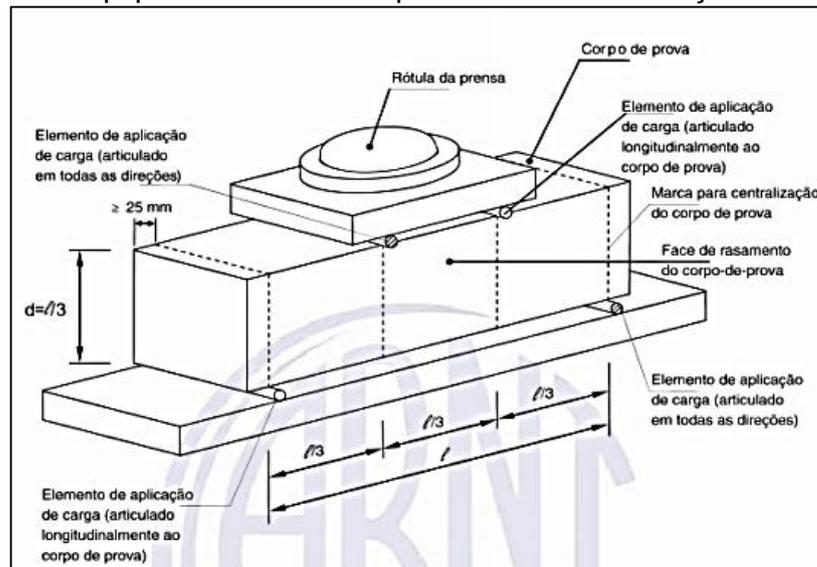
As amostras foram colocadas na estufa com temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ e a massa das amostras foram determinadas nos períodos de 24h, 48h e 72h. As amostras foram resfriadas à uma temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e sua massa seca foi determinada novamente com auxílio da balança de precisão. Completando a secagem das amostras em estufa e determinado a massa, as amostras foram imergidas em água por 72h à uma temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ com objetivo que saturar totalmente as amostras. Após as 72h as amostras são retiradas e pesadas novamente na balança hidrostática extraindo os valores de massa imersa em água e logo em seguida os corpos de prova foram secos com um pano a fim de retirar o excesso de água e foram pesados novamente obtendo os valores de massa saturada das amostras.

Os resultados foram obtidos pelas equações apresentadas anteriormente e discutidos no capítulo quatro onde será tratado os resultados do processo.

3.6.5 Ensaio de tração na flexão.

O ensaio é normatizado pela ABNT NBR 12142:2010 que estabelece o método de ensaio que será utilizado para descobrir a tração na flexão partindo do princípio de uma viga simplesmente apoiada. A aparelhagem utilizada é descrita pela NBR ABNT 5739:2018 que é a mesma máquina utilizada para compressão axial porém ela é adaptada com os dispositivos de flexão como mostra a Figura 3.14.

Figura 3.14: Equipamento utilizado para o ensaio de Tração na Flexão.



Fonte: ABNT NBR 12142 (2010)

Para a realização do ensaio foram confeccionados seis corpos de prova para cada traço estudado, como foram estudados dois traços diferentes totalizou doze corpos de prova cilíndricos que foram moldados seguindo os critérios descritos pela ABNT NBR 5738:2015. A Figura 3.15 mostra o processo de moldagem dos corpos de prova.

Figura 3.15: Moldagem de corpos de prova prismáticos.



Fonte: Os Autores

Os corpos de prova foram preparados e armazenados em local adequado durante 48 horas obedecendo seu tempo de cura inicial. Após a desmoldagem foram

colocados em câmara úmida para completar seu processo de cura. Como mostra anteriormente a Figura 3.9.

3.6.5.1 Procedimento

Ao completar o processo de cura dos corpos de provas foram retirados da câmara úmida, e o ensaio foi realizado logo após a retirada, foi feita duas marcações com um lápis medindo 2,5cm de cada lado com objetivo de marcar o local de apoio centralizando a peça no aparelho. Como ilustra a Figura 3.16.

Figura 3.16: Preparação do corpo de prova para o ensaio



Fonte: Os Autores

Foram realizados os rompimentos aplicados a força de forma contínua e sem choques, à medida que eram rompidos os corpos de prova se fazia a medição de sua seção de ruptura para fim de calcular a resistência que segundo a ABNT NBR 12142 é adquirida pela Equação 3.8 e caso a ruptura ocorra fora do terço médio da viga ou a uma distância de 5% do mesmo o cálculo é feito através da Equação 3.9.

$$F_{ct, f} = \frac{F \cdot \ell}{b \cdot d^2} \quad (3.8)$$

$$F_{ct, f} = \frac{3 \cdot F \cdot a}{b \cdot d^2} \quad (3.9)$$

Onde:

$f_{ct, f}$ = a resistência a tração na flexão, expressa em mega pascal.

F = a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons.

ℓ = a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros.

b = a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros.

d = a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros.

a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros.

A Figura 3.17 mostra os corpos de prova após o procedimento de ensaio descrito a cima:

Figura 3.17: Corpos de prova prismáticos após rompimento



Fonte: Os Autores

3.6.6 Ensaio de compressão axial.

O ensaio de compressão axial simples foi realizado seguindo os requisitos da ABNT NBR 5739:2018, o equipamento utilizado na realização do ensaio foi a prensa, que nos fornece os valores para a resistência dos corpos de prova através da Equação 3.10. A Figura 3.18 ilustra o momento do ensaio.

Figura 3.18: Rompimento de corpos de prova cilíndricos.



Fonte: Os Autores

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} \quad (3.10)$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão do concreto em Mpa.

F é a força máxima alcançada, em Newton.

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros(mm).

3.6.6.1 *Procedimento*

A máquina foi ajustada devidamente como é determinado na ABNT NBR 5739 :2018 e os corpos de provas foram preparados para o ensaio que ocorreu na idade de 28 dias, foram determinados os diâmetros dos corpos de prova afim de calcular a área da seção bruta que será utilizada para obter os resultados para a resistência a compressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1 Resultados do teste de abatimento *Slump* Teste:

O ensaio foi realizado seguindo os requisitos determinados pela ABNT (NM) 67/1998. O abatimento obtido através do ensaio foi desconsiderado pois a mistura apresenta uma coesão baixa para a realização do ensaio. O ensaio foi repetido com uma outra porção da massa obtendo os mesmos resultados. Conforme a norma americana ACI 522R-06:2006 o concreto permeável tem por característica ser um concreto de *slump* zero.

4.2 Resultado Para o Ensaio de Permeabilidade:

O pavimento permeável deve atingir valores para o coeficiente de permeabilidade K maiores que 10^{-3} m/s, como exige a ABNT NBR 16416:2015. A Tabela 4.1 traz os resultados desse teste que são muito satisfatórios, atingindo valores altos coeficiente de permeabilidade para os dois traços estudados.

Tabela 4.1: Tabela de resultados de permeabilidade e vazão

PERMEABILIDADE E VAZÃO						
Corpo de prova	Fator de correção (c)	Massa de água infiltrada m (kg)	Diâmetro d (mm)	Tempo t (s)	Coeficiente de permeabilidade k(mm/h)	Vazão v(l/s)
P1 (100% brita)	4 583 666 000	20	300	22	46299,65	0,9
P2 (90% brita + 10 % tijolo)	4 583 666 000	20	300	25	40743,69	0,8

Fonte: Os Autores

Os valores obtidos para o coeficiente de permeabilidade atendem também ao que diz a norma ACI 522R-06 que determina valor mínimo para o concreto permeável coeficiente de permeabilidade (k) de $1,40 \cdot 10^{-3}$ m/s. E para as placas ensaiadas P1 e P2 temos respectivamente os valores de $K= 1,28 \cdot 10^{-2}$ m/s e $K=1,13 \cdot 10^{-2}$ m/s.

4.3 Resultado do teste de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada.

Os resultados obtidos para o teste de absorção, índice de vazios e massa específica seca e saturada são trazidos nos Quadros 4.1 e 4.2 mostram que o concreto estudado atende os requisitos necessários que o classifica como um material permeável.

Quadro 4.1: Tesde de absorção, índice de vazios e massa específica seca e saturada para traço 100% brita.

Brita 0							
Corpo de prova	Massa seca ms (g)	Massa saturada msat (g)	Massa imersa mi (g)	Absorção da água por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica ms (g/cm ³)	Massa específica msat (g/cm ³)
1	2726,52	3102,97	1609,64	13,8	25,2	1,82	2,07
2	2694,33	2990,96	1672,49	11	22,49	2,04	2,16
3	2599,35	2898,99	1689,37	11,52	24,77	2,14	2,39
Média	-	-	-	12,1	24,15	2	2,2

Fonte: Os Autores

Quadro 4.2: Tesde de absorção, índice de vazios e massa específica seca e saturada para traço 90% brita.

90% Brita 0 + 10% Agregado Reciclado							
Corpo de prova	Massa seca ms (g)	Massa saturada msat (g)	Massa imersa mi (g)	Absorção da água por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica ps (g/cm ³)	Massa específica psat (g/cm ³)
1	2699,35	3074,96	1689,37	13,91	27,1	1,94	2,21
2	2530,49	2844,8	1679,93	12,42	26,98	2,17	2,44
3	2703,32	2954,47	1799,97	9,29	21,75	2,34	2,55
Média	-	-	-	11,87	23,27	2,15	2,4

Fonte: Os Autores

A norma americana ACI 522R-06:2006 diz que os valores para índice de vazios para o concreto poroso variam ente 18 e 35% sendo assim de acordo com os resultados obtidos pelo ensaio temos resultados satisfatórios, podemos observar também que o índice de vazios para o traço confeccionado com material reciclado,

cerâmica vermelha possui valores maiores para índice de vazios, absorção, massa seca e massa úmida.

4.4 Resultados do ensaio de tração na flexão.

A resistência a tração foi obtida através do ensaio de tração na flexão, os seis corpos de prova foram ensaiados após 28 dias de cura em câmara úmida, o quadro 4.3 mostra os resultados obtidos nos testes para o traço obtido sem a utilização de material cerâmico reciclado já o Quadro 4.4 traz os resultados para o traço com adição de 10% do agregado reciclado.

Quadro 4.3: Resultados para traço 100% agregado natural

Ensaio de tração a flexão - 28 dias							
Corpos de prova	Agregado	Dimensão entre apoios (mm)	Comprimento do corpo de prova (mm)	Altura do corpo de prova (mm)	Tensão de ruptura (n)	$F_{ct,f}$ (MPa)	$F_{ct,f}$ média (MPa)
C1	100 % brita 0	350	400	100	9610,52	3,36	3,026
C2		350	400	100	9022,12	3,15	
C3		350	400	100	9414,38	3,29	
C4		350	400	100	7354,99	2,57	
C5		350	400	100	7845,32	2,74	
C6		350	400	100	8727,92	3,05	

Fonte: Os Autores

Quadro 4.4 - Resultado para tração com traço 10% de agregado reciclado

Ensaio de tração a flexão - 28 dias							
Corpos de prova	Agregado	Dimensão entre apoios (mm)	Comprimento do corpo de prova (mm)	Altura do corpo de prova (mm)	Tensão de ruptura (n)	$F_{ct,f}$ (MPa)	$F_{ct,f}$ média (MPa)
C1	90 % brita 0 + 10 % tijolo	350	400	100	8433,72	2,95	2,52
C2		350	400	100	4609,13	1,61	
C3		350	400	100	8237,59	2,88	
C4		350	400	100	5883,99	2,06	
C5		350	400	100	7747,25	2,72	
C6		350	400	100	8433,72	2,95	

Fonte: Os Autores

Os testes de tração na flexão atingiram os resultados determinados para esse tipo de concreto pela norma ACI 522R-06:2006 para áreas de tráfego leve, que devem atingir valores maiores que 2 Mpa, podemos observar também que os valores de resistência a tração para o traço onde se utilizou 10% de material cerâmico reciclado são menores em relação aos valores para o traço com 100% de agregado natural, mas ainda assim estão dentro do esperado.

4.5 Resultados do ensaio de compressão axial.

Os resultados para esse ensaio estão presentes nos Quadros 4.5 e 4.6, respectivamente para, concreto moldado com agregado reciclado e concreto moldado com agregado natural. Os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias tomando como base os requisitos descritos pela ABNT 5739:2018 para realização do ensaio.

Quadro 4.5: Resultado para compressão axial para traço de concreto 90% brita

Ensaio de compressão - 28 dias					
Corpos de prova	Agregado	Diâmetro do corpo de prova (mm)	Força máxima alcançada (n)	<i>F_c</i> (MPa)	<i>F_c média</i> (MPa)
Cp1	90 % brita 0 + 10 % tijolo	100	32361,94	4,12	4,42
Cp2		100	36774,94	4,68	
Cp3		100	34323,28	4,37	
Cp4		100	30106,42	3,84	
Cp5		100	32754,21	4,18	
Cp6		100	42168,6	5,37	

Fonte: Os Autores.

Quadro 4.6: Resultado para compressão axial para traço de concreto 100% brita

Ensaio de compressão - 28 dias					
Corpos de prova	Agregado	Diâmetro do corpo de prova (mm)	Força máxima alcançada (n)	<i>F_c</i> (mpa)	<i>F_c média</i> (mpa)
Cp1	100 % brita 0	100	55407,57	7,05	6,098
Cp2		100	42560,86	5,42	
Cp3		100	55995,97	7,13	
Cp4		100	42953,13	5,46	
Cp5		100	40599,53	5,17	
Cp6		100	50013,91	6,36	

Fonte: Os Autores.

Observando os resultados do ensaio de compressão axial pode-se perceber que o traço dosado com agregado reciclado cerâmica vermelha perde em resistência quando comparado ao traço confeccionado apenas com agregado natural(brita), porem os valores permanecem dentro do que é estipulado pela norma ACI 522R-06:2006 para o concreto permeável, os valores para compressão, segundo a norma americana, devem ser maiores que 2,8 Mpa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi desenvolvido um traço para o concreto permeável que supre as necessidades de áreas urbanas onde problemas relacionados as inundações são controladas com o uso da tecnologia do concreto permeável em áreas de trânsito leve.

A escolha do traço e materiais utilizados para a confecção do mesmo teve como principal finalidade a reutilização de resíduo reciclável da construção civil, especificamente a cerâmica vermelha que é um material que em seu processo produtivo causa danos ao meio ambiente e o descarte inadequado é um erro ainda mais grave.

Os resultados alcançados com ensaios laboratoriais foram satisfatórios obedecendo os valores de resistência a flexão e permeabilidade exigidos para esse tipo específico de concreto; sendo que os resultados obtidos possibilitam o uso desse traço apenas em locais de trânsito leve.

A resistência média alcançada para compressão axial simples para o traço 100% brita zero foi de 6,098 Mpa e para o traço 90% brita +10% material reciclado, cerâmica vermelha, 4,42 Mpa atendendo os valores determinados pela ACI 522R-06:2006 para esse tipo de concreto que devem ser maiores que 2,8 Mpa. Para o ensaio de tração obteve-se valores para o traço 100% brita 3,026 Mpa e para o traço 90% brita + 10% material reciclado, cerâmica vermelha, 2,52 Mpa, atendendo o que diz a norma ACI 522R-06:2006, que para o concreto permeável os valores de resistência a tração devem ser maiores que 2 Mpa.

Por fim, sugere-se também futuros estudos que utilizem outros materiais recicláveis que possam ser usados na confecção do concreto permeável.

6 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2010. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15270: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2017. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro, 2007. 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2011. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ARAÚJO, J M de. *Curso de Concreto Armado*. 4.ed, Rio Grande: Dunas, 2014. v.1.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO.
<https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=285702>. *Pavimentação ecológica é alternativa para o problema das enchentes*, 2012. Disponível em:
 <<https://www3.al.sp.gov.br/repositorio/noticia/03-2012/EcoPiso.jpg>>Acesso em:

ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé-RJ. *Revista de Geografia (UFPE)*, Pernambuco, v.29, n. 3, p.19-36, 2012. Disponível em:<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228972/23381>>Acesso em:

SCHUELER. https://www.researchgate.net/profile/Luciana_Goncalves7. 1987. Disponível em:<https://www.researchgate.net/profile/Luciana_Goncalves7/publication/306108767/figure/fig9/AS:395515888979977@1471309744699/Figura-10-Trincheira-de-infiltracao-e-tecnicas-de-cobertura-vegetal-Fonte-adaptado-de.png> Acesso em:

BATEZINI, R. *Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos de Tráfego Leve*. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte - Infraestrutura de Transporte) - Universidade de Passo Fundo, São Paulo, 2013.

BAUER, M. W.; GASKEL, G. *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático*. São Paulo: Vozes, 200

BETUSEAL. *Como é a feita a preparação do solo para receber o asfalto*. 2015. Disponível em: <<https://www.betuseal.com.br/preparacao-solo-para-receber-asfalto/>>. Acesso em: 28 out. 2019

BIRD P. geographical.co.uk/. *Norfolk's disappearing village*. 2015. Disponível em: <https://geographical.co.uk/uk/uk/item/798-norfolk-s-disappearing-village> Acesso em: 04/11/2015.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. *Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*, Rio de Janeiro, v. 3, 2010.

BRITO, D.S. Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem. 117f. 2006. Dissertação de mestrado-Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília- DF. 2006.

BRAGA, C.; DAL FABRO, T.; REIS, E. A. P. *Cerâmica Vermelha: definição e aplicação*. Encontro de Iniciação Científica, ISSN , 2016.

C&C. <https://www.cec.com.br/material-de-construcao/blocos-e-tijolos>. 2019. Disponível em: <<https://cec-a.akamaihd.net/img-prod/images/standard/bloco-ceramico-11-5x14x24cm-avermelhado-ceramica-nova-uniao-1308183-foto-1.png>> Acesso em:

CARATINGA. Assessoria. Prefeitura de Caratinga. *Canalização dos córregos já apresenta benefícios*. 2013. Disponível em: <Canalização dos córregos já apresenta benefícios>. Acesso em: 16 set. 2019.

CARNEIRO, F. L. *Um Novo Método para Determinação da Resistência à Tração dos Concretos*. Comunicação 5ª Reunião Associação Brasileira de Normas Técnicas, Public. Inst. Nac. Tecnol., Rio De Janeiro, 1943.

CASTRO, L. R. *Mezclas Drenantes*. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DEL ASFALTO., 13., 2013, São José, Costa Rica:2013.

CIMENTO MAUÁ. Traço de concreto: a importância da água para a mistura do material. Disponível em: <<https://cimentomaua.com.br/blog/traco-de-concreto-importancia-da-agua-para-mistura-material/>>. Acesso em: 7 jul. 2019

CIMENTO MONTES CLAROS. <https://cimentomontesclaros.com.br/produtos/>. 2018. Disponível em: <https://cimentomontesclaros.com.br/wp-content/uploads/2018/09/1.jpg>. Acesso em: 15 out. 2019

COOPER, A. M. *Estudo de viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total para redução do escoamento superficial, na cidade de Alegrete/RS*. 2013. 57 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riu/1657>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

CASTRO, L. F. A. de. *Estudo de traço de concreto permeável de cimento Portland*. 2015. 18 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

DE OLIVEIRA, W. N.; BARBOSA, Z. N. T.; FERREIRA, N. C. Análise multitemporal para o monitoramento ambiental de drenagens urbanas nos municípios de goiânia e aparecida de Goiânia-go. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19., 2011, Maceió. *Anais...* Maceió: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011. p. 1 - 14.

ENGENHARIA CONCRETA. <https://engenhariaconcreta.com/>. 2017. Disponível em: <<https://engenhariaconcreta.com/wp-content/uploads/2017/03/tipos-de-bloco-cer%C3%A2mico-estrutural-e-principais-caracter%C3%ADsticas-300x225.jpg>> Acesso em: 8 nov. 2019.

FARIAS, L.A.; LOPES, A.N.M; STIVAL, M.L; ANDRADE, M.A.S; BITTENCOURT, R.M. *Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto*. Goiás: Laboratório de FURNAS, 2018. 9p.

FILHO NETO, A. Água como material de construção. 2013. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=43&Cod=625>>. Acesso em: 12set. 2019.

GONÇALVES, A. B.; OLIVEIRA, R. H. de. *Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a drenagem*. In: SEMINÁRIO, 2014, São Paulo: 2014. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=11805>. Acesso em: 28 out. 2019.

HADDAD NETO, M.J. *Reciclagem de resíduos da construção civil - a engenharia – o engenheiro – a geração do resíduo – seu uso e alternativas*. 2012. 37 f. Monografia (Especialização em Gestão Industrial: Conhecimento e Inovação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

HÖLTZ, Fabiano da Costa. *Uso de concreto permeável na drenagem urbana :análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental.*2011. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

JOÃO.<https://mapio.net/#gsc.tab=0>"RUA NOVA" enchente 2003, 2013. Disponível em:<<https://mapio.net/pic/p-43771025/>>. Acesso em: 05 de nov. de 2019.

KARPINSKI, L. A. et al. Gestão de resíduos da construção civil: uma abordagem prática no município de Passo Fundo-RS. *Estudos Tecnológicos*, Passo Fundo, v. 2, n. 4, p.70-87, 2008, mai/ago 2008. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/5494/2728>. Acesso em: 30 out. 2019.

LÚCIO, R. da S.; BACK, A. J. *Avaliação do impacto da urbanização no sistema de drenagem da região da quarta linha- criciúma (SC).* 2016. 16 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

LUONG, M. P. *Tensile and Shear Strengths of Concrete and Rock. Engineering Fracture Mechanics.* v.35, p.127-135, 1990.

MAPA DA OBRA. Tipos de brita: conheça as diferenças. 2016. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-tipos-de-brita/>>. Acesso em: 15ou. 2019

MAROTTA, Paula. *PERASF – Asfalto Permeável.* 2012. Disponível em: <<https://propostasrq.wordpress.com/2012/10/06/perasf-asfalto-permeavel/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

MILANEZ B., FONSECA I. Justiça climática e eventos climáticos extremos: O Caso das Enchentes no Brasil. *Boletim regional, urbano e ambiental.* n.4, p.93-101, jul. 2010. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5554/1/BRU_n4_justica.pdf>. Acesso em: 03 de nov. de 2019.

MOURA E. N.FRENZEL A.S., MOURA I.I. *Inundações no Meio Urbano e Vulnerabilidade Social: estudo de caso em Curitiba, Brasil. Redes (Santa Cruz do Sul. Online),*v.24, n.2, p.122-142, mai.-ago., 2019. Disponível em: <<https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/13251/pdf>> Acesso em: 04 de nov. de 2019.

PEPIS, D. P. S.; SILVA, I. S. *Implantação de um sistema de telhado verde*. 2019. 18 f. Artigo Científico (aprovação na disciplina de Trabalho de Curso II) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Aldete Maria Alves, Iturama, 2019. Disponível em: <<http://ds.facfama.edu.br/xmlui/bitstream/handle/1/355/IMPLANTA%C3%87%C3%83O%20DE%20UM%20SISTEMA%20DE%20TELHADO%20VERDE.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

PEREIRA, C. <https://www.escolaengenharia.com.br/piso-intertravado/>. *Piso Intertravado: O que é, principais tipos, vantagens e desvantagens*, 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/piso-intertravado/>> Acesso em: 05 out. 2019.

PERRONE, W.; DE SOUZA, W.L. Technical feasibility study of the implantation of a drainage system with the use of permeable asphalt, as an alternative for flood mitigation, in urban areas of Manaus. *Journal Of Engineering And Technology For Industrial Applications*. Manaus, p. 26-40. set. 2019. Disponível em: <<http://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/490/358>>. Acesso em: 03 set. 2019.

PINHEIRO, L.M.; MUZARDO, C.D.; SANTOS, S.P. *Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. Estruturas de Concreto*. São Carlos: USP – EESC, 2017. 125 p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/Alef555/apostila-concreto-armado-libanio-reduzida>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

PINTO, L.L.C.A. *O Desenvolvimento de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano*. 2011. 283 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RACENA, F. A. P. *Dosagem do Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland*. 3 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS 120p. 2011.

RHINOPISOS. http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/25/bloco_drenante_piso_drenante_pavimento_intertravado_permeavel_concreto_poroso. *Bloco retangular drenante*, 2017. Disponível em www.rhinopisos.com.br/_libs/imgs/final/1177.jpg Acesso em: 2 out. 2019.

RIBEIRO, A. *O que é assoreamento?* Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-assoreamento.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

ROSA, A F. *Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio - MG*. 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19693>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

SILVA, K. et al. *Drenagem urbana sustentável: aspectos hidrológicos, influência dos sedimentos e o reequilíbrio dos ciclos naturais*. 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/170574/001025262.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

SANTOS, R. R. dos. *Estudo da resistência mecânica do concreto permeável com substituição de agregado natural por agregado reciclado*. 2017. 77 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Santa Rosa, 2017. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5206/Rafael%20Reinheimer%20dos%20Santos.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

SOUSA R.E.S., GOLÇALVES G.F.G. *Um Estudo Sobre os Impactos Decorrentes das Inundações no Município de Belo Horizonte*. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*. Florianópolis, v.7, n.3, p. 591-606. jul./set. 2018. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6969/4076>. Acesso em: 04 nov. 2019.

SOUZA T. M. K., OTTONI A. B. *Análise Crítica das Causas e Soluções Sustentáveis para o Controle de Enchentes Urbanas: O Caso Prático da Bacia Hidrográfica da Praça da Bandeira (estudo de caso)*. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, Rio de Janeiro, v.03, n.17, p.60-76, 2015. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1009/1032>. Acesso em: 04 nov. 2019.

STORCK, F. R. *Avaliação da influência de pavimentos permeáveis no amortecimento de vazões de escoamento de águas pluviais em um condomínio em Curitiba (PA)*. 2017. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9065>>. Acesso em: 29 out 2019.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. *Drenagem urbana e Controle de Erosão*. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 03., 1998, Presidente Prudente. *Artigo*. Presidente Prudente: Simpósio Nacional de Controle da Erosão, 1998. p. 1 - 16.

TUTIKIAN, B F.; HELENE, P. *Dosagem dos Concretos de Cimento Portland*. São Paulo: IBRACON, 2011. 38 p

URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management*. California: Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, 1993. 449 p.

VIDAL, A.S. *Caracterização de concreto produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014, 131 p.

VIRGILII A.C. *Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias*. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo 2009.

VISINTAINER, M. R. M.; CARDOSO, L. A.; VAGHETTI, M. A. O. Habitação popular sustentável: sustentabilidade econômica e ambiental. *Revista de Arquitetura da Imed*, Passo Fundo, v. 1, n. 2, p.133-140, 2012.

YUDELSON, Jerry. *Projeto integrado e construções sustentáveis*. Bookman, 2013, 284p.