

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANIBAL TEREZA DA SILVA NETO

JOÃO ANTÔNIO DAS NEVES NETO

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO PAVIMENTO DE
CONCRETO PERMEÁVEL EM ANÁPOLIS-GO**

**ANÁPOLIS / GO
2020**

**ANIBAL TEREZA DA SILVA NETO
JOÃO ANTÔNIO DAS NEVES NETO**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO PAVIMENTO DE
CONCRETO PERMEÁVEL EM ANÁPOLIS-GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI
QUARESMA**

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

NETO, ANIBAL TEREZA DA SILVA
NETO, JOÃO ANTÔNIO DAS NEVES

Estudo da aplicabilidade do pavimento de concreto permeável em Anápolis-GO.

45P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto Permeável	2. Pavimento
3. Concreto	4. Permeabilidade
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NETO, Anibal Tereza da Silva; NETO, João Antônio das Neves. Estudo da aplicabilidade do pavimento de concreto permeável em Anápolis-GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 91p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anibal Tereza da Silva Neto

João Antônio das Neves Neto

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do pavimento de concreto permeável em Anápolis-GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Anibal T. da Silva Neto

João Antônio das Neves Neto

Anibal Tereza da Silva Neto

E-mail: engcivil.neto17@gmail.com

João Antônio das Neves Neto

E-mail: joaoneto548@gmail.com

**ANIBAL TEREZA DA SILVA NETO
JOÃO ANTÔNIO DAS NEVES NETO**

**ESTUDO DO PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL
EM ANÁPOLIS-GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**

**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**MARCOS FRANCISCO NOVAES VALENTINO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 10 de JUNHO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família que me apoiou desde o começo do curso.

A minha namorada Taís Adriele, que sempre me incentiva a dar o melhor de mim.

Ao centro de ensino universitário Unievangélica e todos os seus colaboradores.

Agradeço aos docentes do curso de engenharia civil, em especial minha orientadora, Wanessa Mesquita Godoi Quaresma pela paciência e dedicação, sem o qual não teríamos conseguido.

Agradeço também a todos os irmãos e irmãs que conheci durante o curso de engenharia civil.

Anibal Tereza da Silva Neto

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a toda a minha família e amigos. Principalmente, minha mãe Silviane, e todas as minhas tias, que sempre me deram o apoio que eu precisava durante minha vida, e a minha companheira Dayane, por não ter me deixado desistir.

Agradeço a Deus por toda a trajetória vencida e pela força que o senhor me deu para enfrentar todas as adversidades

Aos meus amigos de curso, que sempre participaram da minha formação, meus sinceros agradecimentos

A instituição de ensino UniEvangélica, que deu total condições de concluir um ensino superior com qualidade, expandindo meus horizontes.

Quero agradecer a minha professora e orientadora Wanessa Mesquita, por seu tempo e empenho dedicados a me auxiliar em nosso projeto.

Dedico esse trabalho a Deus, que sempre será meu maior socorro nos momentos adversos da vida, e ao meu pai Luis Carlos (*IN MEMORIAN*).

João Antônio das Neves Neto

RESUMO

O crescimento das cidades tem se dado de forma rápida e acentuada, desta maneira os grandes centros urbanos sem o planejamento do uso do solo vêm provocando a impermeabilização da superfície evitando assim a percolação da água. Nesse contexto surgem os pavimentos de concreto permeável que são uma alternativa viável e econômica para aumentar a permeabilidade dos terrenos em áreas submetidas a cargas reduzidas.

Assim surge a necessidade de realizar o estudo da viabilidade da aplicação do pavimento de concreto permeável na cidade de Anápolis-Goiás com base na precipitação pluviométrica e nas falhas do sistema de drenagem do município. Desta forma foi realizada uma análise do traço de concreto permeável calculado com base no método ABCP/ACI em seguida foram confeccionados dez corpos de prova assim foi examinada a permeabilidade e a resistência que este traço possui, sendo que ambas as propriedades deveriam estar de acordo com a Norma Técnica ABNT NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concretos – requisitos e procedimentos e também a viabilidade de aplicação deste traço para a produção de pavimento de concreto permeável para a cidade de Anápolis.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto Permeável; Pavimento de Concreto; Uso do Solo; Permeabilidade; Resistência.

ABSTRACT

The growth of cities has been taking place quickly and sharply, in this way large urban centers without planning the use of land see to the impermeabilization of the surface thus preventing water percolation. In this context, permeable concrete pavements appear, which are a viable and economical alternative to increase the permeability of land in areas subjected to reduced loads.

Thus, the need arises to carry out a study on the feasibility of applying permeable concrete pavement in the city of Anápolis-Goiás based on rainfall and faults in the municipality's drainage system. In this way, an analysis of the permeable concrete mix was calculated based on the ABCP / ACI method, then ten specimens were made. the Technical Standard ABNT NBR 16416: 2015 - Permeable concrete pavements - requirements and procedures and also the feasibility of applying this feature for the production of permeable concrete pavement for the city of Anápolis.

KEYWORDS:

Permeable Concrete; Concrete Floor; Use of the soil; Permeability; Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bloco de concreto permeável.....	23
Figura 2 - Amostra de concreto permeável	27
Figura 3 - Gráfico de índice pluviométrico mensal de Anápolis.....	31
Figura 4 - Obra adequação do sistema de drenagem na rua Formosa	32
Figura 5 - Ensaio agregado graúdo.....	36
Figura 6 - Adição dos materiais na betoneira	37
Figura 7 - Ensaio de slump test	38
Figura 8 - Resultado do slump test.....	38
Figura 9 - Corpos de prova na câmara úmida.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre concreto convencional e drenante	17
Quadro 2 - Tabela de índices urbanísticos adicionais - Zonas	33

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
MPA	Mega Pascal
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ZUM	Zona Urbana Mista
ZC	Zona Central
ZR	Zona Rural
CP	Corpo de prova
ZDE	Zona de Desenvolvimento Econômico
ZLDE	Zona Linear de Desenvolvimento Econômico
NBR	Norma Brasileira
A/C	Relação Água/Cimento
m ³	Metro Cúbico
KM	Kilometro
m ²	Metro Quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 CONCRETO PERMEÁVEL.....	17
2.1 MATERIAIS	18
2.1.1 Agregados.....	18
2.1.2 Cimento Portland	19
2.1.3 Água.....	20
2.1.4 Aditivos.....	20
2.2 PROPRIEDADES	21
2.2.1 Permeabilidade	21
2.2.2 Porosidade.....	21
2.2.3 Abrasão.....	22
2.2.4 Resistência a compressão.....	22
2.3 PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL	22
2.3.1 Benefícios.....	23
2.3.1.1 Ambientais	23
2.3.1.2 Econômicos.....	24
2.3.1.3 Estruturais	24
2.3.1.4 Outros benefícios	25
2.3.2 Dimensionamento do pavimento.....	25
2.3.3 Método de construção do pavimento de concreto permeável.....	25
2.3.3.1 Preparação do subleito	25
2.3.3.2 Procedimento de mistura.....	26
2.3.3.3 Transporte	26
2.3.3.4 Lançamento e consolidação	26

2.4	DIMINUIÇÃO DA CAPACIDADE DE FILTRAÇÃO DO SOLO DEVIDO AO AUMENTO DA URBANIZAÇÃO	27
2.4.1	Sistemas de drenagem urbana.....	28
2.4.2	Impermeabilização do solo	28
2.4.3	Alternativas para o escoamento superficial	29
2.4.4	Capacidade de drenagem.....	29
2.5	UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL EM ANÁPOLIS	30
2.5.1	Precipitação pluviométrica	31
2.5.2	Deficiências no sistema de drenagem em Anápolis	31
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	35
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	35
3.2	DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO	36
3.3	PRODUÇÃO DO TRAÇO DE CONCRETO.....	36
4	RESULTADOS	40
5	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material que foi desenvolvido pelo homem com o principal intuito de substituir a pedra. Os registros das primeiras aparições do concreto datam de aproximadamente 2000 anos atrás, e ocorreram na cidade de Roma, era especialmente aplicado na construção de aquedutos e pavimentação de vias. O concreto era composto por misturas que utilizavam basicamente o cascalho, a areia, a cal quente, a água entre outros materiais. Ao longo do tempo novos estudos e tecnologias relativas ao concreto foram criadas, em 1849 Joseph Monier elaborou o primeiro concreto armado (ENGENHARIA, 2020).

Na contemporaneidade existem diversos tipos de concretos que podem ser aplicados na área da construção civil, cada um desenvolve uma função específica. Dentre esses muitos tipos de concreto existentes o concreto permeável que se apresenta como uma alternativa relativamente nova que tem como principal função promover a percolação de grandes quantidades de água (OBRA, 2020).

O concreto permeável, ou concreto poroso, nada mais é do que a mistura de cimento Portland, agregado graúdo e uma quantidade reduzida de água como diz com a NBR 16416 (ABNT, 2015). Uma vez que se inicia o processo de cura e conseqüentemente a diminuição de água da mistura, se obtém uma distância entre os grãos do agregado graúdo, essa distância permitirá a passagem da água em direção ao solo, reduzindo assim o acúmulo de água na superfície (MONTEIRO, 2010).

Uma das principais características do concreto permeável em relação aos demais concretos é o seu maior índice de vazios, oferecendo maior proporção de espaços, facilitando deste modo a passagem da água. Os vazios deste material permitem a passagem de água da chuva, que é armazenada nas camadas inferiores do concreto, reduzindo assim as solicitações do sistema de captação de águas urbanas (OBRA, 2020).

O concreto permeável está cada dia mais sendo adotado em projetos arquitetônicos, de engenharia e paisagismo, pois elimina os problemas ambientais e urbanos decorrentes da grande impermeabilização dos solos, isso se deve ao fato desse material possuir relevante capacidade de reduzir as enxurradas e as enchentes (TECNOSIL, 2020).

O plano diretor da cidade de Anápolis possui a exigência de uma área permeável mínima para terrenos com área total superior a 80 m², neste sentido, o concreto permeável se apresenta como uma opção, não sendo mencionada a sua possibilidade de utilização. É uma alternativa mais limpa e prática, podendo ser um possível substituto para a área verde e

futuramente ser adicionada como uma opção viável no plano diretor (PLANO DIRETOR DE ANÁPOLIS, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA

O tema deste estudo tem grande relevância por trazer uma alternativa que visa reduzir os danos causados pela baixa capacidade de drenagem das áreas urbanas, mediante a implantação do concreto permeável em projetos residenciais. Em ótica regional para o município de Anápolis, o estudo se torna válido devido ao alto índice pluviométrico anual e também a deficiência do sistema de drenagem urbano, o que acarreta em grandes inundações, enxurradas e depreciações dos solos e pavimentos, problemas que podem ser minimizados com a aplicação do concreto permeável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como finalidade estudar a confecção e aplicação de um traço de concreto permeável para pavimentação com efeito de drenagem urbana e analisar a água residual permeada como uso de água cinza.

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular e experimentar um traço permeável;
- Confeccionar corpos de provas cilíndricos com concreto permeável;
- Analisar as propriedades físicas e mecânicas do traço permeável;
- Tabular o índice de permeabilidade e analisar a água residual.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa será feita através de estudos baseados em artigos, livros e normas publicadas por especialistas na área, além de utilizarmos de ensaios laboratoriais como a

caracterização dos materiais, análise de permeabilidade e resistência mecânica, para melhor compreender os pontos positivos e negativos, além do seu processo executivo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos o estudo está organizado em cinco partes:

O capítulo 1 contém a introdução deste trabalho conforme mostrada acima, e no capítulo 2 apresentará o referencial teórico, com todo o estado da arte sobre o tema. O procedimento experimental, com a metodologia e materiais será apresentado no capítulo 3, no capítulo 4, serão apresentados os resultados e discussões obtidos por meio dos experimentos realizados. E por fim, o capítulo 5 apresentará as conclusões obtidas neste estudo.

2 CONCRETO PERMEÁVEL

Segundo Finocchiaro e Giradi (2017) consta em pesquisas empíricas que a provável origem do concreto permeável aconteceu em meados dos anos 40, na França. O material foi criado a partir da necessidade do sistema de drenagem se encontrar sobrecarregado. Assim este concreto serviu de apoio com o intuito de melhorar a drenagem, o conforto e a segurança dos pavimentos.

O pavimento permeável, também conhecido como concreto poroso, ou drenante, tem como principal finalidade, permitir a passagem de água através dos vazios presentes. Em comparação ao concreto convencional, o concreto permeável se destaca por possuir um maior índice de vazios, que fica entre 15% a 25%. Essa característica provém de uma diferença da preparação do traço, sendo que o concreto convencional possui em sua composição: ligante hidráulico, agregado graúdo, agregado miúdo e água. O concreto poroso possui em sua composição: ligante hidráulico, agregado graúdo de maior granulometria e água, conforme demonstrado na tabela abaixo (TECNOSIL, 2020; MONTEIRO, 2010):

Quadro 1 - Comparação entre concreto convencional e drenante

Tipo	Areia	Brita	Aditivo	Resistência a compressão (MPa)
Convencional	30% a 50% do agregado total	Bem graduada, grãos arredondados	Opcional	20 a 60
Drenante	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos (Brita “0” e pedrisco)	Redutor de água, plastificante e outros	3 a 30

Fonte: Adaptado de Monteiro, (2010).

O American Concrete Institute (ACI 522, 2010) define o concreto poroso como uma estrutura que possui vazios interconectados entre si que permitem que a água passe através da superfície, deve ser pouco adensável para que a pasta de cimento não escorra para os vazios e também deve possuir baixos valores para coesão. É considerado um material de construção sustentável, uma vez que reduz o escoamento das águas pluviais, melhora a qualidade da água de recarga do lençol freático e pode reduzir o impacto da urbanização (MONTEIRO, 2010).

Seguindo essa definição, o concreto permeável, se destaca e se idealiza através da necessidade de diminuir a quantidade de enchentes que assombram diversas cidades no Brasil, podendo ser utilizado em pavimentos de trânsito leve, como calçadas de praças, estacionamento para carros populares, área de circulação externa residencial (BENEVENUTO, 2020).

Os pavimentos permeáveis de concreto podem ser executados com as tipologias de: peças de concreto com juntas alargadas ou com áreas vazadas, peças de concreto permeável, placas de concreto permeável e concreto permeável moldado no local. As peças ou placas de concreto devem ser fabricadas por processos que atendam as seguintes características: aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos, livres de rebarbas e defeitos; espessuras com medida nominal mínima igual ou maior ao mínimo, em múltiplos de 20 mm; tolerância dimensional para comprimento, largura e espessura de ± 3 mm em relação às dimensões das fôrmas (MALLMANN, 2017).

2.1 MATERIAIS

O concreto permeável deve ser constituído de matérias que promovam a maior permeabilidade do concreto de maneira a permitir a maior percolação de água associado a ótimos resultados de resistência.

2.1.1 Agregados

São materiais que oferecem distribuição granulométrica, absorção de água, porosidade e resistência ao concreto. Segundo a NBR 7211 – Agregados para o concreto – especificação “os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis, limpos e que não interfiram no endurecimento e hidratação do cimento e também na proteção contra a corrosão da armadura” (OBRA, 2020).

Os agregados podem ser de origem natural ou resultante de britagem de rochas estáveis e são classificados conforme sua granulometria. Estabelece como agregado graúdo todo material que passa pela peneira de 75 mm e fica retido na peneira de malha quadrada de 4,8 mm, desta forma agregado miúdo é o material que passa pela peneira de 4,8 mm (TECNOSIL, 2020).

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) a resistência do agregado não tem influência direta na resistência do concreto convencional, exceto se o agregado for muito

quebradiço. Ainda assim, a resistência do concreto não é influenciada diretamente pela dimensão e pela forma do agregado.

A escolha do tipo de agregado correto para utilizar no traço de concreto permeável é de extrema importância, pois sua granulometria afeta diretamente a permeabilidade e a resistência do concreto poroso. O agregado possui grande capacidade de influenciar as propriedades finais do concreto, essas propriedades dependem da resistência, densidade dos agregados, da forma e da granulometria. Para o concreto permeável deve ser utilizado apenas agregado graúdo visto que o agregado miúdo possui a capacidade de preencher os vazios, podendo fazer com que este material apresente baixa condutividade hidráulica (RAMOS, 2018).

2.1.2 Cimento Portland

É o material de construção de mais extenso uso no mundo, trata-se de um pó fino com função ligante que endurece na presença de água. O cimento Portland é composto por clínquer, mistura de calcário, argila e adições como: gesso, escória de alto forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos. A quantidade de adições destes materiais é determinado de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018) e eles determinam as propriedades de resistência, estabilidade, durabilidade e impermeabilidade do cimento (AECWEB, 2020).

Existem no Brasil diversos tipos de cimento Portland, isso acontece em função das diferentes e quantidades de adições que podem ser utilizadas. Os principais tipos de cimentos empregados no mercado são (NBR 16697, ABNT 2018):

- CP I – Cimento Portland comum;
- CP I-S – Cimento Portland comum com adição;
- CP II-E – Cimento Portland composto com escória;
- CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana;
- CP II-F – Cimento Portland composto com fíler;
- CP III – Cimento Portland de alto-forno;
- CP IV – Cimento Portland pozolânico;
- CP V – ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial;
- RS – Cimento Portland resistente a sulfatos;
- BC – Cimento Portland de baixo calor de hidratação;

- CPB – Cimento Portland branco.

2.1.3 Água

A água possui um importante papel na preparação do concreto, ela reage quimicamente com o cimento, causando a hidratação das partículas para a formação de cristais sólidos que promovem a resistência mecânica da mistura, ela também aumenta a trabalhabilidade, ou seja, colabora para que a mistura assuma aspecto plástico o suficiente para ser transportada e ser aplicada nas fôrmas (MAUÁ, 2020).

Para que atenda as especificações a água deve ser adicionada na mistura aos poucos, dependendo, a quantidade ideal de água é definida de acordo com o local e tipo de aplicação, requisitos de projeto, qualidade do cimento e agregados disponíveis, entre outros fatores. Os problemas causados por falta de controle na dosagem de água são enormes, dentre eles segregação, exsudação, patologias superficiais, fissuras e baixa resistência mecânica (YAZIGI, 2009).

A água também se faz presente no processo de cura do concreto, que consiste em diminuir os efeitos da evaporação prematura da água de mistura do concreto. A técnica mais adequada para a realização deste procedimento deve levar em consideração o processo construtivo, a velocidade de desforma, o acesso as peças concretada. Dentro os processos mais utilizados estão: a cura úmida, cura química, cura térmica (TECNOSIL, 2020).

2.1.4 Aditivos

Quando necessário aumentar essas características, é indicado a utilização de aditivos que podem modificar as propriedades reológicas do concreto e alteram as reações de hidratação do cimento. Podem melhorar a fluidez, a trabalhabilidade, modificar a viscosidade, diminuir ou acelerar o tempo de pega, controlar o desenvolvimento das resistências mecânicas entre outros, sem prejudicar a resistência e a permeabilidade (BATEZINI, 2013).

Aditivos são substâncias químicas que acrescentadas ao concreto possuem diferentes funções, a efetividade de cada aditivo pode variar dependendo da concentração usada no concreto, tipo de cimento, temperatura do ambiente, agregados misturados no concreto, tempo de adição e variação dos constituintes. Os aditivos são geralmente encontrados na forma líquida, e são classificados pela função que possuem, como, por exemplo: plastificantes,

incorporadores de ar, superplastificantes, modificadores de pega, modificador de viscosidade (BATEZINI, 2013).

2.2 PROPRIEDADES

2.2.1 Permeabilidade

O concreto é um material que possui vazios, isso se deve ao fato de que ao se hidratar a água presente na mistura evapora deixando assim os vazios, a conexão entre esses vazios torna o concreto permeável. A permeabilidade do concreto é proporcional a relação água/cimento e inversamente proporcional aos finos presentes na mistura do concreto (RAMOS, 2019).

Os agregados podem ser menos permeáveis que a pasta de cimento que se encontra na mistura e quando adicionados ao sistema isso faz com que a permeabilidade aumenta devido à dimensão das partículas. Quanto maior for à dimensão do agregado grão maior será a permeabilidade do concreto (RAMOS, 2019).

A permeabilidade será determinante para os processos físicos e químicos que ocorrem na vida útil do concreto. A resistência do concreto está diretamente ligado a sua permeabilidade, tendo que os vazios reduzem a resistência do concreto (BATEZINI, 2013).

2.2.2 Porosidade

Os poros são os defeitos mais estudados da microestrutura do concreto, variando de tamanhos menores até tamanhos maiores. Os poros do concreto podem ser classificados em poros de gel, poros capilares e macroporos e também podem ser classificados em abertos ou fechados. Os poros de uma pasta de cimento em estado endurecido possuem quantidade, forma e dimensões muito variadas, sendo que o tamanho é uma das características que mais influenciam nas propriedades do concreto (NEVILLE, 2016).

Nas primeiras idades a porosidade é de 20% a 25%, em idade mais avançada se encontra entre 10% a 15%, não sendo possível um concreto convencional ter um volume de vazios menor que 10%. Para o estudo da porosidade, usualmente, determina-se a distribuição dos diâmetros dos poros, a porosidade aberta e a área específica (NEVILLE, 2016).

2.2.3 Abrasão

A resistência a abrasão é a capacidade do concreto em resistir a esforços superficiais de fricção devido ao tráfego de veículos, pessoas e o arrasto de cargas. A abrasão refere-se a atrito seco e é a perda gradual continuada da argamassa superficial e de agregados em uma área limitada, muito comum nos pavimentos, pode ser classificada conforme a profundidade do desgaste em: desgaste leve, desgaste médio, desgaste pesado e desgaste severo (SILVA, 2011).

Para obtenção de uma boa resistência à abrasão em superfícies de concreto, a resistência do concreto não deve ser inferior a 28 MPa, sendo recomendáveis também, uma baixa relação água/cimento, com granulometria, lançamento, adensamento e cura adequados (SILVA, 2011).

2.2.4 Resistência a compressão

A resistência a compressão está relacionada com a tensão máxima necessária para causar a ruptura. Mesmo sem sinais visíveis de fratura externa, o corpo de prova é considerado rompido quando não suporta uma carga maior isso devido ao estado interno de fissuração avançado (NEVILLE, 2016).

Uma das principais propriedades mecânica do concreto é a resistência a compressão, é determinada através de ensaios de curta duração e na maioria dos casos parâmetro fundamental para a tomada de decisão. No geral os ensaios são realizados na idade padrão de 28 dias, levando em consideração que esta é a idade que a estrutura deve apresentar ao entrar em carga (NEVILLE, 2016).

2.3 PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

De uma forma geral a execução de pavimentação na construção civil, visa atingir a máxima impermeabilidade possível, para evitar que o acúmulo de umidade acelere o processo de degradação e reduza a capacidade de carga do mesmo (Acioli, 2005, p. 8). Porém, o processo de urbanização pouco a pouco tomou o espaço das áreas verdes permeáveis, dando início a buscas por alternativas que suavizem os efeitos da impermeabilização do solo.

O pavimento de concreto permeável foi apresentado como uma alternativa com grande capacidade de auxiliar na questão do escoamento superficial e sobre o carregamento

do sistema, mas apesar de suas vantagens este processo ainda não é amplamente usado (RAMOS, 2018).

Figura 1 - Bloco de concreto permeável



Fonte: Próprios autores, 2018.

No Brasil a utilização do pavimento de concreto permeável é predefinida pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015) que estabelece os requisitos mínimos exigíveis ao projeto. O pavimento de concreto permeável é definido como aquele pavimento que possui vazios que permitem a percolação e/ou o acúmulo temporário de água reduzindo assim o escoamento superficial (MONTEIRO, 2010).

Sendo assim, para atender a norma, a pavimentação de concreto deve possuir uma resistência mínima exigida para suportar a carga de passagem de veículos e pedestres, e ainda permitir a passagem e escoamento da água para o subsolo ou estrutura base do pavimento, não permitindo a formação de poças d'água em sua superfície (MONTEIRO, 2010).

2.3.1 Benefícios

2.3.1.1 Ambientais

O pavimento de concreto permeável pode provocar diversos benefícios ambientais, pode-se dizer que elimina os problemas ambientais e urbanos decorrentes da impermeabilização do solo, permite a infiltração direta de água para os aquíferos subterrâneos, reduz ou elimina o escoamento superficial e permite a filtragem da poluição difusa ocasionada por óleos ou outras substâncias encontradas na pavimentação urbana, que geralmente são levadas para os cursos d'água (TECNOSIL, 2020).

Quando aplicado de forma correta, seguindo as recomendações de projetos reduz o pico das cheias, possibilitando diminuir a necessidade do sistema de drenagem urbano e a possibilidade de ocorrência de enchentes; facilita a sobrevivência da arborização localizada em áreas pavimentadas, por permitir a chegada de ar e água até as raízes das plantas (OLIVEIRA, 2017).

2.3.1.2 Econômicos

Executando um sistema de drenagem urbano utilizando o pavimento de concreto permeável é possível reduzir os gastos com piscinões, bombas, tubulação de drenagem e outros sistemas de drenagem urbana, áreas de retenção de águas pluviais que podem ser reduzidas ou eliminadas, aproveitando melhor a área útil do solo, além disso, esse tipo de sistema de drenagem é adaptável a diferentes regiões, fazendo uso de materiais locais para os agregados e outros componentes. A escolha do concreto permeável é positiva para as economias locais, demandando empresas próximas para transporte e aplicação, assim como uso de materiais locais; diminui custos de manutenção, uma vez que é eficaz com pouca ou nenhuma manutenção por um período entre 20 e 40 anos (TECNOSIL, 2020).

O pavimento de concreto permeável pode proporcionar menor custo durante o ciclo de vida, se comparado com outras alternativas, como o asfalto, ainda que o custo inicial de aplicação seja um pouco maior do que o asfalto, o concreto permeável é mais econômico à medida que tem durabilidade e resistência superiores requerendo menos reparos que o asfalto. O concreto permeável é fortemente recomendado pelo baixo custo do ciclo de vida, ou seja, o custo para se construir, manter, dismantelar e reciclar é baixo (RAMOS, 2019).

2.3.1.3 Estruturais

O concreto permeável pode chegar a elevadas resistências, como 25 MPa (resistência suficiente para suportar um caminhão dos bombeiros) e até mais com o auxílio de materiais e aditivos especiais. Pode-se acrescentar mais areia, aumentando a resistência, mas a perda da permeabilidade é alta, limitando assim drasticamente o uso deste recurso (OLIVEIRA, 2017).

2.3.1.4 Outros benefícios

O uso do pavimento de concreto permeável evita o acúmulo de água nas vias e calçadas, melhorando a circulação de carros e pedestres, além do mais a rugosidade do concreto permeável aumenta a tração dos veículos, prevenindo acidentes causados por deslizamento (OLIVEIRA, 2017).

As mesmas máquinas utilizadas para produção e aplicação do asfalto podem ser utilizadas para concreto permeável, ele pode ser produzido com qualquer tipo de agregado, o que permite a utilização de agregados locais e também é feito com cimento permitindo o acréscimo de pigmentos para se ter uma variedade de cores (BATEZINI, 2013).

2.3.2 Dimensionamento do pavimento

Existem dois fatores predominantes para determinar a espessura do pavimento de concreto permeável: as propriedades hidráulicas e as propriedades mecânicas. Quando utilizado como revestimentos de pavimentos devem ser projetados para suportar os carregamentos do tráfego e contribuir positivamente para o escoamento superficial proveniente de intempéries (BATEZINI, 2013).

Na etapa de projeto devem ser selecionados materiais adequados e também espessuras capazes de atender aos dois requisitos principais do pavimento. Algumas disposições especiais devem ser levadas em consideração em relação ao solo no projeto como os subleitos como solos expansíveis ou compressíveis (BATEZINI, 2013).

A base utilizada sob o revestimento permeável deve ser granular com diâmetro máximo do agregado na ordem de 25 mm ou subsolo natural quando há predominância de solos arenosos (BATEZINI, 2013).

2.3.3 Método de construção do pavimento de concreto permeável

2.3.3.1 Preparação do subleito

Um dos critérios para a execução do pavimento de concreto permeável é a uniformidade do subleito, o solo precisa apresentar um coeficiente de permeabilidade elevado para que o sistema seja funcional e efetivo (BATEZINI, 2013).

O concreto permeável é um tipo de mistura que possui baixa relação água/cimento e alto índice de vazios então deve-se tomar cuidado para que o pavimento não perca água prematuramente. Deste modo faz-se necessário umedecer previamente o sub-leito para que a água da superfície na parte inferior do concreto não seja removida rapidamente de sua estrutura prejudicando o processo de hidratação do cimento (BATEZINI, 2013).

2.3.3.2 Procedimento de mistura

As propriedades especiais que o concreto permeável possui como o alto índice de poros faz com que este material necessite de cuidados especiais durante sua mistura. Em particular a quantidade de água que é limitada devido à alta permeabilidade e resistência que o material deve possuir e também a reduzida quantidade de água que serve para que a pasta de cimento não solte do agregado e obstrua os poros de concreto (BATEZINI, 2013).

2.3.3.3 Transporte

Devido à baixa relação água/cimento do concreto permeável deve-se tomar cuidado com o transporte deste até o local de aplicação, assim todo o material deve ser descarregado no prazo máximo de uma hora após o início da mistura dos componentes. O uso de aditivos especiais como os retardadores de pega podem elevar esse prazo, um cuidado especial que deve ser tomado é com o clima principalmente com o calor e o vento que podem acelerar o processo de evaporação da água da mistura (BATEZINI, 2013).

2.3.3.4 Lançamento e consolidação

O método mais comum para o lançamento do concreto permeável é o manual, com o auxílio de formas metálicas laterais, este material não pode ser bombeado devido ao baixo índice de argamassa que este tipo de concreto possui. Este material é descarregado direto do caminhão betoneira e colocado direto nas formas, sendo espalhado manualmente no interior das formas (BATEZINI, 2013).

Para a compactação do concreto permeável podem ser utilizados dois métodos, no primeiro uma placa niveladora é utilizada então com o auxílio de uma régua vibratória e o concreto é adensado. No segundo método o adensamento é feito a partir de uma placa

compactadora vibratória que normalmente é utilizada para misturas contendo agregados de elevada angularidade.

Figura 2 - Amostra de concreto permeável



Fonte: Batezini, 2013.

2.4 DIMINUIÇÃO DA CAPACIDADE DE FILTRAÇÃO DO SOLO DEVIDO AO AUMENTO DA URBANIZAÇÃO

O crescimento desenfreado da população urbana, sem o devido planejamento da infraestrutura gera diversos problemas há longo prazo, as áreas verdes usadas anteriormente como rota de escoamento da água das chuvas dão lugar a edificações cada vez mais grandiosas (UOL, 2020).

Segundo a empresa brasileira de pesquisa agropecuária, (FARIA, 2017) dados de outubro de 2017 afirmam que as áreas consideradas urbanas no Brasil, representam menos de 1% do território nacional (0,63%) e concentram aproximadamente 160 milhões de pessoas, ou seja, 84,3% da população brasileira. Essa super concentração populacional significa também, um crescimento no número de edificações e pavimentações asfálticas, o que por sua vez impermeabiliza o solo.

Sem uma rota de escoamento direto, se cria um acúmulo de água na superfície, acúmulo esse, que é majorado pela ineficiência das redes de captação pluvial, devido ao mau dimensionamento e baixa qualidade destes sistemas podendo-se somar ainda o lixo acumulado na rede de drenagem, o que diminui drasticamente a capacidade do sistema (BATEZINI, 2013).

2.4.1 Sistemas de drenagem urbana

Os sistemas de drenagem urbana são divididos entre macro e microdrenagem. A macrodrenagem envolve áreas de no mínimo 2 Km² sendo responsável pela captação da água proveniente da parte da microdrenagem e pelo envio até seu destino final. Já a microdrenagem é responsável apenas pela captação local, sendo formada por meio-fio, sarjeta, bocas de lobo e vários outros componentes. (TUCCI & BERTONI, 2003, p. 50)

A principal função destes sistemas é evitar a ocorrência de enchentes e reduzir o escoamento superficial, porém, em muitos casos não é levado em conta à impermeabilização do solo devido ao crescimento exponencial da população das áreas urbanas. Sistemas de macrodrenagem são dimensionados para captação ao longo de vários anos, sendo assim indispensável um estudo a longo prazo, para evitar que a demanda de captação supere a capacidade do sistema (OLIVEIRA, 2017).

Além do cuidado na etapa de projeto é importante lembrar que o sistema de drenagem demanda manutenção constante, principalmente para evitar o acúmulo de lixo e possível obstrução das bocas de lobo e tubulações (MONTEIRO, 2010).

2.4.2 Impermeabilização do solo

O sistema de drenagem urbana tem importância essencial para o gerenciamento das cidades, como objetivos de promover a saúde, segurança e o bem estar. Esse sistema engloba a pavimentação das vias, redes superficiais e subterrâneas de captação e transporte de águas pluviais (RAMOS, 2019).

A pavimentação das vias transforma esses espaços em áreas impermeabilizadas. Isso faz com que a taxa de escoamento superficial da água das chuvas seja elevada. Essa taxa de escoamento representa a parte da água da chuva que não penetra no substrato e escoar sobre a camada de cobertura do pavimento. O escoamento superficial acontece quando o volume da precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração do solo. Quanto maior for à impermeabilização do solo urbano maior será o escoamento superficial (RAMOS, 2019).

Nos últimos anos no Brasil é possível observar o aumento da impermeabilização superficial, que leva consigo o aumento do escoamento superficial trazendo assim diversos problemas para as cidades. Dentre esses efeitos podemos citar o mais comum: as inundações urbanas, elas ocorrem porque uma parcela maior da chuva escoar superficialmente

sobrecarregando o sistema de drenagem. As inundações ocorrem principalmente nas metrópoles onde a taxa de impermeabilização é elevada (OLIVEIRA, 2017).

2.4.3 Alternativas para o escoamento superficial

O processo de urbanização acaba causando alguns problemas ambientais, assim o grande desenvolvimento dos núcleos urbanos de grandes dimensões faz com que esses problemas como as inundações sofra uma elevação considerável (JÚNIOR, 2013).

Assim os sistemas de drenagem urbanos utilizados atualmente se encontram ultrapassados, não atendendo mais as necessidades dos centros urbanos, se estendendo além do seu limite, comprometendo todo fluxo de escoamento das águas pluviais. O seu funcionamento tem base no rápido afastamento do excedente pluvial que simplesmente leva o problema de um ponto da cidade até outro (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 1999).

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 à grande gama de problemas estruturais até a problemas de saúde (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 1999).

As dimensões necessárias para a drenagem dessas águas têm relação direta com a vazão e um alto custo de instalação, que aumentaria à medida que o processo de impermeabilização continua. A melhor opção seria criar sistemas que permitisse que as águas pluviais se infiltrassem no solo, conforme antes do processo de urbanização e consequentemente impermeabilização do solo (JÚNIOR, 2013).

2.4.4 Capacidade de drenagem

A capacidade de drenagem do pavimento de concreto permeável pode ser afetada devido a selagem da superfície da camada de revestimento. Essa situação é comum e ocorre quando há um excesso de compactação na camada superficial durante o processo construtivo. Quando a superfície está selada os vazios que fazem a drenagem da água ficam entupidos e consequentemente torna toda a camada de concreto impermeável, essa situação pode ser analisada visualmente através da condição da superfície do pavimento acabado (BATENIZI, 2013).

Ao longo da vida útil do pavimento de concreto permeável pode ocorrer a diminuição da capacidade drenante devido a partículas de areia, terra e outros materiais que podem incrustar nos poros do concreto, fazendo assim com que a água tenha dificuldades de percolar até o solo (BATEZINI, 2013).

2.5 UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL EM ANÁPOLIS

As últimas gestões da prefeitura de Anápolis tentaram compensar parcialmente o grande problema de redução de área permeável criado pela super urbanização através da implantação de parques e praças, além de criar áreas de lazer para a população que também são grandes áreas permeáveis que auxiliam na filtração da água das precipitações. E também na reforma das redes de captação de água pluvial dos principais pontos da cidade como a Avenida Brasil e a Avenida Universitária (PREFEITURA, 2013).

A exemplo disso no bairro Jundiá em Anápolis, no ano de 2010 foi inaugurado o parque ambiental Ipiranga, que se tornou um cartão postal da cidade. O parque que é um dos maiores da cidade conta com extensa área verde, porém nem toda a área do parque pode ser considerada permeável, o parque possui ciclovias, estacionamento e pista de caminhada pavimentada que somadas tem uma área de aproximadamente 2.300 m² (PREFEITURA, 2013)

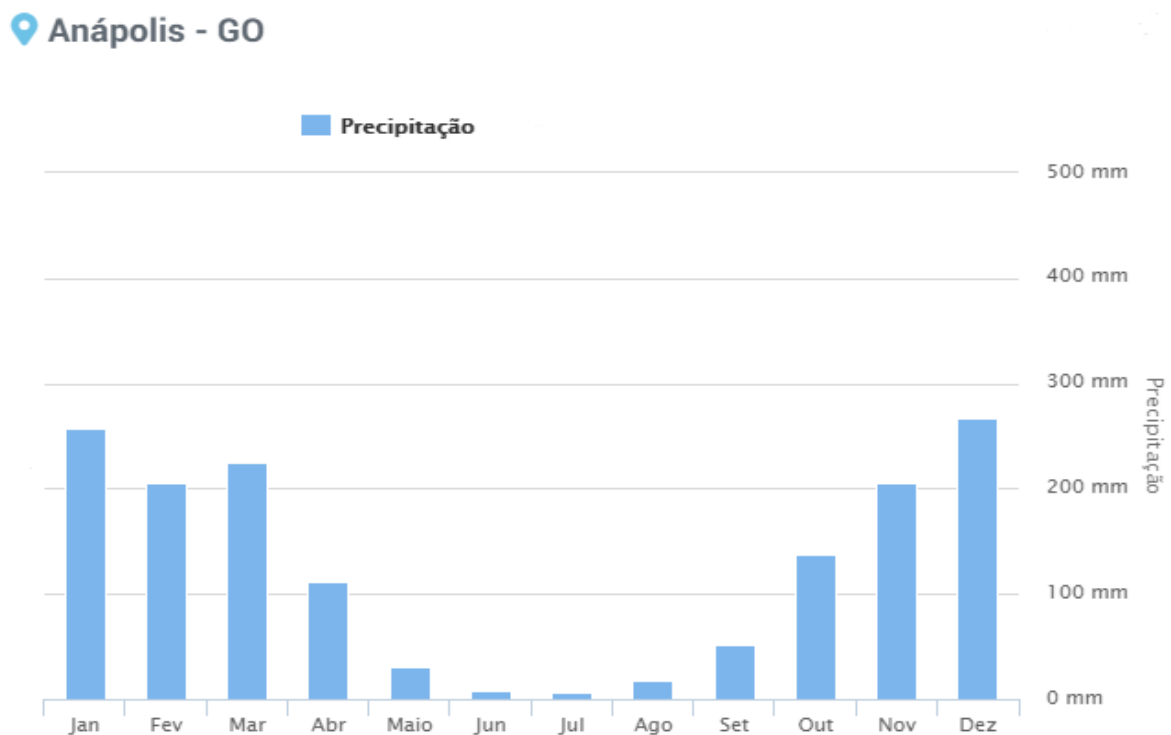
Assim a implantação do concreto permeável em áreas públicas tem muitas possibilidades de utilização, principalmente no centro da cidade, onde a norma vigente do plano diretor permite que 100% do terreno seja ocupado por área construída não havendo necessidade da demarcação de parte da área como sendo permeável. A área central da cidade apresenta grandes problemas no sistema de drenagem, a principal razão é o fato de todo o sistema da região ser antigo, e por ser uma área majoritariamente comercial se o que torna inviável a execução de grandes obras que paralisem a circulação do local por muito tempo (PREFEITURA, 2013).

Uma alternativa para compensar essa redução de área permeável na área central da cidade é a aplicação do pavimento de concreto permeável também nas calçadas, compensando assim parcialmente a impermeabilização do solo devido ao grande número de construções (PREFEITURA, 2013; OLIVEIRA, 2017).

2.5.1 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica está diretamente ligada à questão da drenagem urbana e apesar de Anápolis não ser uma cidade com índices pluviométricos considerados altos, nos meses em que a chuva se concentra são suficientes para demonstrar toda a ineficiência do sistema de drenagem da cidade. Com precipitações próximas dos 300 mm nos meses de pico, como pode ser observado abaixo:

Figura 3 - Gráfico de índice pluviométrico mensal de Anápolis



Fonte: Climatempo, (2017).

Não é raro se ouvir notícias de estragos causados pela chuva e até mesmo mortes em alguns casos, como por exemplo, quando uma estudante morreu afogada em uma das principais avenidas da cidade, após ter sido arrastada pela forte enxurrada, fato esse ocorrido no ano de 2011 (EXTRA, 2011).

2.5.2 Deficiências no sistema de drenagem em Anápolis

A falta de planejamento a longo prazo desses sistemas de drenagem faz com que a demanda de água a ser drenada supere a capacidade de trabalho do sistema, gerando um

déficit, que se torna visível através de enchentes e grande volume de enxurradas, se fazendo necessário o estudo e execução de projetos que visem aumentar a capacidade de escoamento do sistema. Porém as obras para aumentar os sistemas micro e macrodrenante, além de terem um custo relativamente alto, geram diversos transtornos para a população local, como por exemplo a interdição de ruas e abertura das vias (OLIVEIRA, 2017).

A exemplo disso, a cidade de Anápolis realizou a maior obra de drenagem urbana já vista na região, com um custo superior a 3 milhões de reais, grande parte do projeto teve que ser refeita do zero, pois a gestão anterior não implantou um sistema adequado (PREFEITURA DE ANÁPOLIS, 2018) . Apesar de necessária a realização dessas obras de grande porte as mesmas geram diversos transtornos, como a paralisação da circulação de veículos no local das obras, e conseqüente sobrecarga de veículos nas rotas de desvio, como se observou em Anápolis desde o início das obras na rua Formosa conforme é demonstrado na imagem a seguir.

Figura 4 - Obra adequação do sistema de drenagem na rua Formosa



Fonte: Daniel Carvalho-Ascom, 2018

A fim de reduzir o impacto da impermeabilização do solo devido à urbanização é exigido no plano diretor da cidade de Anápolis através do projeto de lei complementar N° 001 de 15 de fevereiro de 2016, no artigo 87 a designação de uma parcela do terreno como área permeável em cada setor de zoneamento (PLANO DIRETOR DE ANÁPOLIS, 2016).

Art. 87. Todo e qualquer empreendimento com área construída igual ou superior a 80,00 m² (oitenta metros quadrados) deverá destinar, além da área permeável mínima exigida conforme a Tabela de Índices Urbanísticos Adicionais – Zonas (Anexo I) e a Tabela de Índices Urbanísticos Adicionais – Áreas Especiais (Anexo II), Poço de Recarga/Detenção com capacidade suficiente de dreno calculado sobre área impermeabilizada do terreno.

Quadro 2 - Tabela de índices urbanísticos adicionais - Zonas

Zona	Índice de permeabilidade	Índice de ocupação do terreno
Urbana mista – ZUM	20% + Poço de recarga ou detenção	70%
Desenvolvimento econômico – DEZ	30%	50%
Linear desenvolvimento Econômico – ZLDE	30%	50%
Linear do eixo Brasil sul – ZLBS	20% + Poço de recarga ou detenção	70%
Linear do eixo Brasil norte – ZLBN	20% + Poço de recarga ou detenção	70%
Linear do eixo Brasil centro – ZLBC	20% + Poço de recarga ou detenção	70%
Central – ZC	Poço de recarga ou detenção	100%
Urbana descontínua	20%	70%
Rural – ZR	60%	30%

Fonte: Plano diretor da cidade de Anápolis, 2016 (Adaptado)

A reserva de uma parte do terreno para servir como área permeável, amortece o escoamento superficial, o que por sua vez reduz o excesso a ser descarregado nos sistemas drenantes urbanos. Essa alternativa não pode ser considerada como uma solução, mas sim uma válvula de escape para desafogar o sistema (RAMOS, 2018).

A utilização de áreas verdes é a alternativa mais simples e ambientalmente recomendada, quando se trata de áreas permeáveis, mas nem sempre a implantação de áreas verdes se adéquam as necessidades do projeto. Neste sentido, os pavimentos de concreto permeável se apresentam como uma alternativa que não apresenta os problemas de

manutenção a curto prazo e a necessidade de limpeza constante que são necessárias em um ambiente gramado por exemplo, se tornando uma opção mais prática (OLIVEIRA, 2017).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Assim o aumento da pavimentação leva consigo o aumento da impermeabilização superficial das áreas urbanas e conseqüentemente elevação do escoamento superficial das cidades que traz diversos problemas para as cidades, como as inundações urbanas.

Desta maneira faz se a aplicação do concreto permeável visando reduzir a impermeabilização que ocorre no solo da cidade de Anápolis-Goiás. Para isso foi desenvolvido um traço de concreto permeável utilizando cimento, agregado graúdo, e água.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A primeira etapa é caracterizar os agregados, ou seja, encontrar as propriedades que são utilizadas no traço de concreto. Para definir a curva granulométrica e a massa específica do agregado graúdo é necessário seguir as NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 53 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção civil do Centro Universitário de Anápolis UniEvangélica.

O agregado escolhido para este traço foi a brita 0, isso se deve ao fato de que este material tem capacidade de fornecer vazios porém ser perder a coesão necessária. Os resultados obtidos para a brita foram os seguintes:

Massa específica: 2810 kg/m³

Massa unitária: 1530 kg/m³

Figura 5 - Ensaio agregado graúdo



Fonte: Próprios autores, 2020

3.2 DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO

O traço de concreto foi desenvolvido de acordo com o método ACI/ABCP, este método de dosagem é uma adaptação do método do American Concrete Institute. As características do concreto irão depender basicamente dos principais materiais que o compõem. A dosagem do concreto é, portanto, o proporcionamento adequado dos constituintes de forma que o material resultante desta mistura atenda aos requisitos solicitados.

Após o cálculo com o auxílio de tabelas e gráficos o traço de concreto permeável encontrado foi 1:4:0,9 sendo este o traço reproduzido na forma unitária, observando também que para manter os poros do material esta dosagem não leva agregado miúdo.

3.3 PRODUÇÃO DO TRAÇO DE CONCRETO

A primeira etapa consiste em pesar os materiais do traço de concreto permeável, para isso antes é necessário realizar o peneiramento do agregado graúdo para remover o material

pulverulento para não influenciar desta nas propriedades do concreto e também devido à quantidade reduzida de finos que este traço deve possuir.

Assim para iniciar a produção do traço de concreto é necessário colocar na betoneira a brita 0 e um pouco de água, posteriormente é adicionado o cimento para que tenha uma boa distribuição de cada partícula de cimento para cada partícula de água, e por fim é adicionado o restante da água do traço. É realizada a mistura de todos os materiais até que se obtenha a homogeneização dos componentes.

Figura 6 - Adição dos materiais na betoneira



Fonte: Próprios autores, 2020

Após a mistura foi realizado o slump test como descreve a NBR NM 67 (ABNT, 1998), o slump é um ensaio que tem como principal função verificar a consistência do concreto. De tal modo para a execução deste ensaio é necessário em uma forma tronco-cônica sobre uma superfície limpa, homogênea e impermeável o concreto ser disposto em três camadas semelhantes, adensadas com vinte e cinco golpes, sendo que os golpes da segunda e terceira camada não podem penetrar a camada inferior, em seguida a forma é retirada realizando-se a medida da diferença entre a altura da forma e a altura do concreto permeável. O resultado obtido com esse ensaio foi 110 mm.

Figura 7 - Ensaio de slump test



Fonte: Próprios autores, 2020

Figura 8 - Resultado do slump test



Fonte: Próprios autores, 2020

Posteriormente efetua a moldagem de 10 corpos de prova usando moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, a confecção dos corpos de prova de concreto permeável foi feita seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015). Os corpos de prova foram revestidos com uma camada de óleo para que então possa ser colocado o concreto no molde, sendo ele dividido em duas camadas iguais, em cada camada foram aplicados 12 golpes sendo que os golpes da segunda camada não devem atingir a cama inferior. Em seguida houve a identificação dos corpos de prova com a data da moldagem e data do rompimento.

Os corpos de prova ficaram em repouso por vinte e quatro horas, em seguida eles foram desmoldados e encaminhados para a câmara úmida para ser realizado o processo de cura.

Figura 9 - Corpos de prova na câmara úmida



Fonte: Próprios autores, 2020

4 RESULTADOS

Por conta da situação atual que se encontra o país e também o mundo passando por uma seria pandemia, o covid-19, não foi possível realizar o ensaio de compressão axial e de permeabilidade dos corpos de prova moldados visto que é necessário atender as medidas de segurança, prezando em primeiro lugar pelo bem estar e pela vida. Desta forma é possível proceder com a avaliação de outros trabalhos acadêmicos realizados na área do estudo em questão e verificar a aplicação destes no caso em estudo.

De acordo com Ramos (2019) o processo de urbanização das metrópoles altera as condições hidrológicas dos ambientes, muitas vezes tornando a drenagem urbana complexa. Em relação aos fatores associados à urbanização destaca-se a drenagem urbana insuficiente ou mal planejada, decorrida de sistemas obstruídos ou subdimensionados.

Outro fator que agrava a drenagem urbana é a impermeabilização do solo, devido à criação de residências, ruas e calçadas o que faz com que toda água do escoamento superficial seja direcionada para o sistema de drenagem que muitas vezes não consegue dar vazão ao volume de água do local (RAMOS, 2019).

Assim pode fazer o uso de sistemas alternativos para a drenagem da água de escoamento superficial, podem ser conhecidos também como medidas “compensatórias” de drenagem, dentro delas se encontra os pavimentos de concreto permeável (RAMOS, 2019).

O pavimento de concreto permeável permite a infiltração da água no solo, isso se deve ao fato dele ser um material extremamente poroso que permite que a água passe por seus vazios interligados. Devido a essas características esse tipo de material influencia significativamente as vazões de pico que ocorrem durante os eventos de chuva (BETEZINI, 2013).

Diante do exposto, Ramos (2019) realizou o estudo da aplicação do pavimento de concreto permeável, mas contendo pequenas alterações, sendo elas o usam do agregado miúdo e do resíduo (cinza de madeira). Alguns dos traços analisados alcançaram a resistência e a absorção de água adequada como diz na ABNT NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concretos – requisitos e procedimentos, assim torna-se viável a aplicação desses mesmos traços para os pavimentos de concreto poroso pra cidade de Anápolis-Goiás.

Assim Betezini (2013) desenvolveu três traços de concreto permeável utilizando três tipos de agregado graúdos e cimento CP III 40 RS, ele realizou a moldagem de corpos de prova para analisar a compressão uniaxial, a tração por compressão diametral, a tração na flexão, o módulo de elasticidade, a permeabilidade, a porosidade e o índice de vazios. O

índice de vazios do traço não atendeu as referências bibliográficas apresentando-se no limite inferior, os valores de permeabilidade se encontraram entre 0,13 cm/s a 0,14 cm/s atendendo os valores de referência, os resultados de modulo de elasticidade também não atingiram o resultado esperado, mas isso pode ocorrer devido à variação do material que é composto o agregado graúdo.

O estudo de Monteiro (2010) teve como principal objetivo analisar os traços de concreto permeável para avaliar o seu desempenho. Foram realizados ensaios de compressão axial, de tração na flexão e de permeabilidade. Os resultados a compressão não atingiram os resultados esperados de acordo com outras referências bibliográficas, entretanto os resultados ainda se demonstraram satisfatórios, pois atingiram em torno de 10 MPa, demonstrando assim que esse tipo de traço e esse tipo de pavimento pode ser utilizado para calçadas e outros lugares que não possuem tráfego ou algo parecido.

O estudo de Oliveira (2017) consistiu em compor traços de concreto permeável com agregados reciclados e com agregados virgens para a aplicação em pavimentações realizando teste de compressão axial e a tração por compressão diametral aos 28 dias. Analisando os resultados é possível ver uma diferença na resistência entre os traços com agregado virgem e o com agregado reciclado, sendo que o traço com agregado virgem apresenta resistência maior. O fato do traço com agregado reciclado apresentar resistências inferiores se deve ao fato dele possuir mais vazios com isso maiores índice de absorção. Os resultados utilizando agregado reciclado mostram que esse traço deve ser aplicado para pavimentos que serão utilizados com tráfego leve como calçadas.

Para Botteon (2017) os traços de concreto permeável estudados para aplicação em um estacionamento teve os resultados de permeabilidade acima do esperado, porém os traços não atingiram a resistência necessária para aplicação no estacionamento que segundo as normas seria de 35 MPa e também apresentaram baixos resultados a abrasão o que impossibilita ainda mais a aplicação deste material para os estacionamentos, visto que os carros causam grandes fricções com os pavimentos. As tensões máximas encontradas para o traço do estudo estão em torno de 20 MPa, demonstrando que não podendo ser aplicado no estacionamento este traço pode ser aplicado em outros locais com o intuito de reduzir o escoamento superficial da água.

5 CONCLUSÃO

O estudo teve como principal intuito a análise e viabilidade de aplicação do pavimento de concreto permeável na cidade de Anápolis – Goiás, possuindo como principal objetivo a redução dos problemas causados pelas inundações na cidade, que são frequentes nos períodos chuvosos.

Como explanado no referencial teórico são grandes os problemas causados pela urbanização das metrópoles que causam a impermeabilização dos solos impossibilitando a percolação de água para o solo. Com o intuito de reduzir estes problemas e também os problemas de sobrecarregar nas redes de drenagem pluvial avaliou-se a possibilidade da aplicação do pavimento de concreto permeável que permite que a água penetre através dos poros do material infiltrando-se no solo.

Mesmo que o estudo não obteve os resultados finais com o experimento é possível através de outros estudos de diversos autores compreender que a aplicação do pavimento de concreto permeável se faz eficiente com o intuito de minimizar os impactos causados pela urbanização e conseqüentemente pela impermeabilização do solo sem reduzir ou retirar o sistema de drenagem urbano de águas pluviais. E também a aplicação deste material nas cidades trás benefícios ambientais e econômicos como a infiltração direta de água para os aquíferos e a redução de gastos na ampliação dos sistemas de drenagem urbanos.

A aplicação do pavimento de concreto permeável pode ocorrer em calçadas do centro da cidade, em áreas de ciclovia, em áreas residenciais em substituição a área permeável, sem que isso interfira no uso ou atrapalhe de alguma forma o desempenho do concreto ou da edificação.

Torna-se indispensável a continuidade dos estudos, por isso recomenda-se para estudos futuros a aplicação do concreto permeável em áreas de tráfego leve analisando a capacidade hidráulica e a resistência ao tráfego como forma de aumentar as áreas de drenagem urbana.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos: NBR16416:2015.**

ACI COMMITTEE 522. 522R-10 Report on Pervious. 2010, 38p

ACIOLI, L.A. (2005). **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Dissertação de pós graduação, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AECWEB. **Cimento Portland: conheça os tipos, vantagens de cada um e saiba usar.** conheça os tipos, vantagens de cada um e saiba usar. Disponível em: <http://blogaecweb.com.br/blog/cimento-portland-conheca-os-tipos-vantagens-de-cada-um/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2015). ABNT NBR16416:2015: **Pavimentos permeáveis de concreto-Requisitos e procedimentos.** Rio de Janeiro-RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2003). ABNT NBR NM:248 **Agregados-determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro-RJ.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para área de veículos leves.** 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, São Paulo, 2013.

BENEVENUTO, Andrey. **Concreto permeável: concreto permeável: uff pesquisa soluções para uma urbanização sustentável.** Concreto permeável: UFF pesquisa soluções para uma urbanização sustentável. Disponível em: <http://www.uff.br/?q=noticias/15-08-2018/concreto-permeavel-uff-pesquisa-solucoes-para-uma-urbanizacao-sustentavel>. Acesso em: 03 abr. 2020.

BOTTEON, Letícia Machado. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos.** 2017. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

ENGENHEIRA, Civilização. **A História do Concreto.** Disponível em: <https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2017/03/22/a-historia-do-concreto/>. Acesso em: 23 mar. 2020.

EXTRA, J. (04 de ABRIL de 2011). **Estudante morre afogada em Goiás.** Acesso em 28 de Setembro de 2018, disponível em Extra globo: <https://extra.globo.com/noticias/brasil/universitaria-morre-afogada-em-goias-1000352.html>

FARIAS, A. R. (10 de OUTUBRO de 2017). **Mais de 80% da população brasileira habita 0,63% do território nacional.** Acesso em 17 de Novembro de 2018, disponível em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional>

FINOCCHIARO, Pedro S.; GIRARDI, Ricardo. Concreto permeável produzido com agregado reciclado. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, Macaé, v. 5, n. 1, p.19-26, jun. 2017.

MALLMANN, Marcelo Bortolini. **Estudo experimental do escoamento superficial de dois pavimentos permeáveis de concreto em função de chuvas extremas no vale do Taquari/RS.** 2017. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017.

MAUÁ, Cimento. **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: 03 abr. 2020.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto poroso: dosagem edesempenho.** 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 887 p

OBRA, Mapa de. **Entenda como o uso de concreto permeável pode servir para drenagem urbana.** Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/concreto-permeavel-2/>. Acesso em: 24 mar. 2020.

OBRA, Mapa de. **Tipos de Agregados:: descubra as diferenças.** descubra as diferenças. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/agregados/>. Acesso em: 25 mar. 2020

OLIVEIRA, Iago de. **Concreto permeável com agregado reciclado para uso em pavimentação.** 2017. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

PLANO DIRETOR DE ANÁPOLIS. (14 de JULHO de 2016). **Projeto de lei complementar N°001 Art.87.** Plano diretor de Anápolis, p. 184.

PREFEITURA DE ANÁPOLIS. **Lei de nº 346, de 07 de julho de 2016-Plano Diretor - 1969** Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor de Desenvolvimento I do Município de Anápolis, e dá outras providências.

PREFEITURA DE ANÁPOLIS. (6 de NOVEMBRO de 2018). **Obras de grande porte já na reta final.** Acesso em 21 de Novembro de 2018, disponível em Anápolis, planejamento e

ação: <http://www.anapolis.go.gov.br/portal/multimedia/noticias/ver/obras-de-grande-porte-ja-na-reta-final>

PREFEITURA DE ANÁPOLIS. (6 de NOVEMBRO de 2018). **Obras de grande porte já na reta final**. Acesso em 21 de Novembro de 2018, disponível em Anápolis, planejamento e ação: <http://www.anapolis.go.gov.br/portal/multimedia/noticias/ver/obras-de-grande-porte-ja-na-reta-final>

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Acesso em 25 de Maio de 2020, disponível em http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf

RAMOS, Gustavo Moreira. **Análise das propriedades do concreto permeável com adição de agregado miúdo e resíduo (cinza de madeira)**. 2018. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SANTOS JÚNIOR, Valdevino José dos. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. **Estação Científica**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 19-30, jun. 2013. Semestral.

SILVA, Cristina Vitorino da. **Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos**. 2011. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TECNOSIL. **Concreto permeável: o que é e quais seus grandes atrativos?**. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-permeavel-o-que-e-e-quais-seus-grandes-atrativos/>. Acesso em: 23 mar. 2020.

TECNOSIL. **O que é cura de concreto e como faz uma cura eficiente?** Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-cura-de-concreto-e-como-fazer-uma-cura-eficiente/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

TECNOSIL. **O que são agregados para concreto?** Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

TUCCI, C., & BERTONI, J. (2003). **Inundações Urbanas na América do Sul** (1ª ed.). (C. A. Campos, & M. F. Wendell, Eds.) Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: ABRH.

UOL. **Urbanização do Brasil: consequências e características das cidades**. Consequências e características das cidades. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/urbanizacao-do-brasil-consequencias-e-caracteristicas-das-cidades.htm>. Acesso em: 22 abr. 2020.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10 ed. São Paulo: PINI, 2009. 769 p.p