UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO POROSO: DOSAGEM E DESEMPENHO

ANNA CAROLINA NEVES MONTEIRO

GOIÂNIA, 2010

ANNA CAROLINA NEVES MONTEIRO

CONCRETO POROSO: DOSAGEM E DESEMPENHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer

ANNA CAROLINA NEVES MONTEIRO

CONCRETO POROSO: DOSAGEM E DESEMPENHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em: _____/_____/_____

_____

Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer
Universidade Federal de Goiás

_____

Eng. MSc. Deusair Rodrigues dos Santos
Universidade Federal de Goiás

_____

Prof. MSc Janaína Das Graças Araújo
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Visto do orientador: _____
Em _____/_____/_____

RESUMO

O crescimento dos centros urbanos tem aumentado a quantidade de superfícies impermeáveis, o que tem dificultado a infiltração da água das chuvas no solo e sobrecarregado os sistemas tradicionais de drenagem urbana. A implantação de novas tecnologias que permitem a infiltraçao da água no solo tem sido estudas desde 1970 em vários países. Este trabalho trata da determinação e avaliação de um traço de concreto poroso conhecido como permeável, que pode ser utilizado como revestimento em pavimentos sem impermeabilizar a superficie. Para isso foram realizados ensaios de caracterização e de desempenho de concreto produzido com materiais abundantes na cidade de Goiânia – Goiás.

Palavras chave: Concreto poroso, permeável

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Textura de pavimento de concreto poroso
Fonte: ACI 522, 2010 13

Figura 2 – Representação diagramática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento 16

Figura 3 – Caracterização granulométrica do agregado graúdo – NBR NM 248 (2003) 23

Figura 4 – Moldagem dos corpos de prova prismáticos de concreto poroso 24

Figura 5 – Corpos de prova cilíndricos de concreto poroso 25

Figura 7 – Execução do ensaio de consistência – Slump Test 27

Figura 9 – Diagrama esquemático do ensaio de tração na flexão 29

Figura 10 – Execução do ensaio de tração na flexão. 30

Figura 11 – Demonstração de permeabilidade 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre concreto convencional e poroso..... 11

Tabela 2 – Caracterização granulométrica do agregado graúdo 23

Tabela 3 – Resultados do ensaio de determinação da absorção de água por imersão e índice de vazios. (NBR 9778)..... 26

Tabela 4 – Resultado do ensaio de determinação de massa específica do concreto. (NBR 9778)..... 27

Tabela 5 – Resistência a compressão - traço 1:4 e a/c 0,30 29

Tabela 6 – Resistência a compressão - traço 1:3 e a/c 0,26 29

Tabela 7 – Resistência a tração na flexão a 28 dias - traço 1:3 e a/c 0,26..... 30

Tabela 8 – Resistência a tração na flexão - traço 1:4 e a/c 0,30..... 31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 9

1.1 OBJETIVO 9

1.2 LIMITES DA PESQUISA 9

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 10

2.1 CONCRETO POROSO 10

2.1.1 HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO 11

2.1.2 PROBLEMÁTICA DA URBANIZAÇÃO 12

2.1.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS 12

2.1.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO POROSO 13

2.1.5 POROSIDADE DO CONCRETO POROSO 14

2.1.6 PERMEABILIDADE DO CONCRETO POROSO 15

2.1.7 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO POROSO 15

2.2 ZONA DE TRANSIÇÃO 16

2.3 MATERIAIS 17

2.3.1 AGREGADOS 17

2.3.2 CIMENTO 18

2.3.3 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO 18

2.3.4 ADITIVOS 19

2.4 MÉTODO DE DOSAGEM 20

2.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO POROSO 21

2.5.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO 21

2.5.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 21

3. MATERIAIS E MÉTODOS 22

3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO 22

3.1.1 GRANULOMETRIA 22

3.1.2 DOSAGEM 24

3.1.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA 24

3.1.4 ADENSAMENTO 25

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO 26

3.2.1 ÍNDICE DE VAZIOS E ABSORÇÃO 26

3.2.2 MASSA ESPECÍFICA 27

3.3 ENSAIOS DE CONTROLE 27

3.3.1 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA OU SLUMP TEST 27

3.3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES 28

3.3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO 29

3.4 PERMEABILIDADE 31

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 32

5. CONCLUSÃO 34

BIBLIOGRAFIA 35

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais importante e mais utilizado na construção civil. É resultante da mistura de aglomerante, agregados miúdos e agregados graúdos com água (SILVA, 1991).

O concreto poroso é um tipo especial de concreto que se caracteriza principalmente pela ausência de finos, e por produzir uma estrutura permeável e resistente.

É utilizado principalmente para pavimentação como técnica compensatória de amortecimento de cheias, com intuito de diminuir o escoamento das águas pluviais. É indicado para locais com tráfego de cargas moderadas, como estacionamentos e calçadas.

1.1 Objetivo

Este trabalho apresenta dados relativos à determinação de um traço de concreto poroso com materiais disponíveis na cidade de Goiânia que apresente o melhor desempenho do ponto de vista de tecnologia de concreto. Trata-se da dosagem e avaliação do concreto do tipo poroso, conhecido como permeável.

O objetivo deste trabalho é buscar através da dosagem experimental um traço de concreto poroso produzido com materiais da região de Goiânia, e avaliar suas características comparando-o com estudos realizados anteriormente.

1.2 Limites da pesquisa

A pesquisa foi realizada em um pequeno intervalo de tempo, o que impossibilitou que fossem feitas outras determinações de traço e que tivéssemos mais dados para comparação. O material utilizado não é considerado o melhor disponível e sim o mais facilmente encontrado, por isso a utilização de melhores materiais pode acarretar melhores resultados.

Concreto poroso: dosagem e desempenho

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO POROSO

O concreto poroso, conhecido como concreto permeável ou *porous concrete* (POC), é um tipo especial de concreto destinado, principalmente para pavimentação bastante utilizado nos Estados Unidos e Europa, é composto por cimento Portland, materiais de graduação aberta, agregado graúdo, pouco ou nenhum fino, aditivos e água (FERGUSON, 2005).

O concreto poroso também é utilizado em barreiras de som, para reduzir o barulho das rodovias por reflexão acústica (KIM e LEE, 2010) e como dispositivo de drenagem em muros de arrimo (OSPINA e ERAZO, 2007).

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. É considerado 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.

As principais diferenças entre o concreto convencional e o concreto poroso estão descritas na tabela 1. O concreto convencional possui alta resistência e é feito para ser estanque, já o concreto poroso é feito para permitir a passagem de água e por isso apresenta resistência moderada.

Tabela 1 – Comparativo entre concreto convencional e poroso.

TIPO	Res. Compressão (MPa)	Areia	Brita	Aditivos
CONVENCIONAL	20 a 60 MPa	De 30 a 50 % do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados	Opcional
POROSO	3 a 30 MPa	Pouco ou nenhum	Graduação Aberta, grãos angulosos (Brita '0' e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

2.1.1 Histórico e Utilização

O concreto denso convencional tem sido utilizado para pavimentação desde 1856 quando foi instalado experimentalmente na Escócia. A utilização do concreto poroso para pavimentação teve inicio em 1970 nos Estados Unidos (FERGUSON, 2005) apesar de contradizer os princípios da rigidez e homogeneidade que condiciona o concreto convencional.

Inicialmente foi utilizado para produção de tubos drenantes, hoje é bastante utilizado assim como o concreto asfáltico poroso em vários países da Europa, nos Estados Unidos e Japão, com o objetivo de favorecer a segurança do usuário e permitir fluidez de trânsito em diferentes condições meteorológicas (OSPINA e ERAZO, 2007). Seu uso vem crescendo significamente, devido aos benefícios ambientais como controle do escoamento de

águas pluviais, recarga do lençol freático e diminuição da poluição da água e do solo. Ainda possui potencial para reduzir as ilhas de calor e reduzir ruídos em estradas.

2.1.2 Problemática da Urbanização

A ocupação urbana nas grandes cidades causa o aumento da freqüência de cheias urbanas devido ao aumento de superfícies impermeáveis que tem dificultado a infiltração da água das chuvas. As superfícies impermeáveis tem sido responsáveis pela diminuição da qualidade das bacias hidrográficas em áreas urbanas, tem afetado a disponibilidade hídrica, e tem causado aumento no escoamento superficial. Estima-se que nessas áreas as bacias têm recebido menos de um quarto de todo volume precipitado sendo o restante direcionado aos cursos d'água, ocasionando enchentes urbanas, erosão do solo e arraste de poluentes para.

Em termos de drenagem urbana, os sistemas tradicionais que antes eram voltados para a canalização do escoamento estão sendo substituídos por sistemas sustentáveis que incluem a implantação de medidas estruturais como bacias de retenção e detenção, poços de infiltração e pavimentos drenantes.

2.1.3 Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis são superfícies drenantes que promovem a infiltração, armazenamento e percolação de parte ou da totalidade da água provinda do escoamento superficial para dentro de uma camada de armazenamento temporário no terreno, a qual é absorvida gradualmente pelo solo (ALVES; COSTA, 2007).

Pavimentos permeáveis incluem asfalto e concreto porosos, blocos vazados e uma variedade de outros materiais, que podem ser utilizados em grande parte das superfícies urbanas comunitárias, tais como calçadas, estacionamentos, praças, parques e áreas externas, como vias locais e pequenos acessos (FERGUSON, 1994).

A principal característica dos pavimentos de concreto poroso é permitir a infiltração da água através de sua superfície, para sua posterior infiltração no solo. Este tipo de pavimento tem sido bastante analisado na atualidade por ser uma alternativa viável tanto

do ponto de vista técnico como econômico (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007). A textura de um pavimento poroso pode ser vista na figura 1.

Figura 1 – Textura de pavimento de concreto poroso
Fonte: ACI 522, 2010

A utilização da técnica de pavimentos porosos é recente, antes a concepção de pavimentos contemplava a impermeabilização total da superfície. A partir dos anos 1970, na Europa e na America do Norte surgiu a necessidade de soluções para os problemas hidrológicos acarretados pelo intenso desenvolvimento urbano, estudos experimentais foram iniciados, e a partir dos anos 1980 teve início a sua utilização operacional (BAPTISTA, 2005). No Brasil, diversos estudos estão sendo realizados para avaliar a eficiência e aplicabilidade destas estruturas para o amortecimento das cheias. Em países desenvolvidos, mais avançados nessa tecnologia, já se observa a preocupação com a qualidade da água e diversas aplicações práticas no sentido de reutilizá-la.

Esse material apresenta características construtivas semelhantes ao convencional. A diferença está na eliminação do material fino da sua composição, aumentando a porosidade final da mistura (URBONAS e STAHRE, 1993).

2.1.4 Propriedades do Concreto Poroso

Segundo Ospina e Erazo (2007) o concreto poroso deve ter granulometria adequada para garantir a abertura de poros que permita a passagem de água pelo material, preferencialmente agregado graúdo com ausência parcial de finos. Deve apresentar

porosidade elevada de 15 a 20%, que é alcançada limitando-se o conteúdo de argamassa entre 20 e 30% e resistência a compressão de 7MPa aos 28 dias.

As propriedades do concreto poroso dependem da granulometria, quantidade de cimento, relação água/cimento e quantidade de vazios (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007). A graduação do agregado é um dos fatores que interferem nas propriedades do concreto poroso, pois influência a resistência e a permeabilidade, que são propriedades importantes para o desempenho do concreto poroso.

Para o concreto poroso utiliza-se o agregado de graduação aberta, que apresenta distribuição granulométrica contínua com insuficiência de materiais finos (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios, e consequentemente em maior permeabilidade ao concreto.

Apesar de ser conhecido como concreto sem finos, a presença do agregado fino é importante porque aumenta a resistência na zona da interface entre o agregado graúdo e a pasta. Segundo YANG *et al* (2008) a zona de transição entre a pasta e o agregados é pequena e fraca. Com o aumento da quantidade de finos pode-se perceber um aumento na resistência a compressão, pois os finos preenchem os espaços entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, melhorando a ligação entre os agregados aumentando a resistência do concreto poroso. Por outro lado o uso de material fino diminui os vazios e bloqueiam a comunicação entre os poros diminuindo a permeabilidade que é a principal propriedade desse material.

2.1.5 Porosidade do concreto poroso

Porosidade é a propriedade que tem a matéria de não ser contínua, havendo espaço entre as massas (SILVA, 1991) é obtida pela relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos (PETRUCCI, 1973). Para que uma amostra seja considerada porosa, deve ter entre 15% e 35 % de seu volume ocupado por vazios (ACI 522, 2010).

O concreto convencional é um material que, por sua própria constituição, é necessariamente poroso, por que não é possível preencher a totalidade dos vazios do agregado com pasta de cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.1.6 Permeabilidade do Concreto Poroso

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem de água através do material. Essa passagem pode ser por filtração sob pressão, por difusão através dos condutos capilares e por capilares. (TARTUCE, 1990)

A interconexão entre os vazios no concreto torna permeável à água. Essa é uma importante propriedade considerando o concreto exposto ao ar, aos ataques de águas agressivas ou a ação dos agentes atmosféricos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A capacidade de drenagem do concreto poroso depende do tamanho do agregado e da densidade da mistura. A quantidade total de vazios é maior quanto menor o tamanho dos agregados. (KIM E LEE, 2010)

2.1.7 Resistência a Compressão do Concreto Poroso

Lian e Zhuge (2010) avaliaram a resistência a compressão, e permeabilidade para diferentes tipos de agregados e graduações. O tipo de rocha de que se obtém o agregado graúdo afeta a resistência do concreto poroso independente da graduação do mesmo. Isso pode ser atribuído pela diferença na resistência a compressão, na forma das partículas e na textura do próprio agregado. Afirmam ainda que as partículas que tem alta absorção de água não produzem altas resistências, por que a pasta em volta do agregado perde água, e produz uma zona de transição ainda mais fraca.

Segundo Lian e Zhuge (2010) o uso do agregado de um único tamanho favorece a permeabilidade, o agregado com partículas variando entre 9,5mm e 4,75mm produz um aumento na resistência a compressão e diminuição da permeabilidade do concreto poroso, e o agregado bem graduado causaria diminuição das resistências a compressão simples e tração na flexão do concreto poroso. Ainda assim os três tipos de agregados estudados mostraram permeabilidade favorável, e, além disso, pode-se concluir que a adição de materiais finos pode aumentar a resistência do concreto poroso.

A utilização de agregado miúdo aumenta a resistência, apesar de representar uma pequena perda de permeabilidade. O teor de finos entre 9,5 a 4,75 mm recomendado é de

cerca de 20% o que garante pouca interferência no comportamento do concreto, ou seja, o concreto irá apresentar boa resistência e permeabilidade. (YANG *et al*, 2008)

Geralmente baixa resistência é associada à alta porosidade (HUANG et al., 2009). O concreto poroso com agregado graúdo de diâmetro máximo característico 19 mm (Brita 1) produz vantagem hidrológica porque apresenta poros de maiores tamanhos e maior permeabilidade, menor retração e fissuração inicial que o de diâmetro máximo característico de 9,5 mm (Brita 0), mas possui menor resistência a compressão porque tem menor área de superfície de contato interna entre o agregado e a pasta de cimento (YANG e JIANG, 2003).

2.2 ZONA DE TRANSIÇÃO

O concreto é composto por três fases, que compreende a pasta de cimento, o agregado, e a zona de transição entre os dois (Fig. 2). A zona de transição é a porção da pasta em contato com as partículas de agregado graúdo de pequena espessura entre 10 e 50 μm e é normalmente mais fraca que os outros dois componentes. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

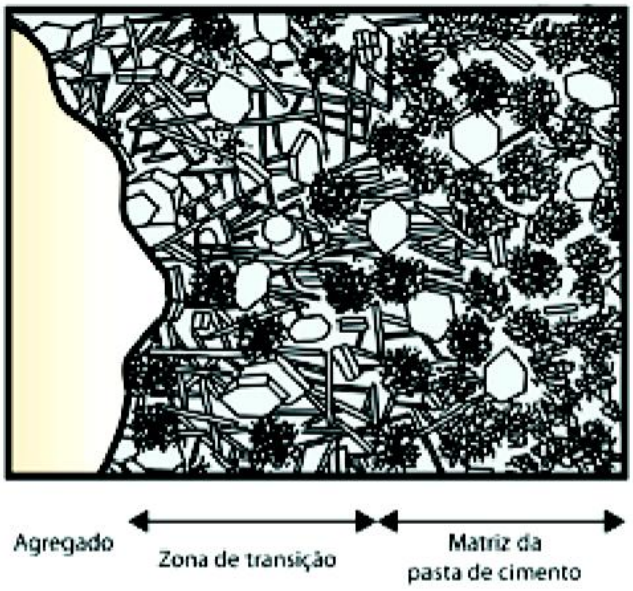


Figura 2 – Representação diagramática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2008

Estudos da microestrutura do concreto mostram que a interface entre o agregado e a pasta de cimento tem influência direta no comportamento do concreto sob tensão. Geralmente, o concreto denso rompe primeiro na matriz de cimento e depois na região da interface.

No concreto poroso a formação dos compostos cristalinos como hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ e a etringita são maiores porque a ausência de finos aumenta o espaço vazio na zona de transição. O baixo fator água-cimento, menor que no concreto convencional, demanda mais atenção às características do agregado devido a exsudação interna que também enfraquece a zona da interface entre a pasta e o agregado.

2.3 MATERIAIS

2.3.1 Agregados

A granulometria afeta tanto a resistência quanto a permeabilidade do concreto endurecido. O agregado exerce grande influência nas propriedades do concreto, é o principal responsável pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Essas propriedades do concreto dependem principalmente da densidade e resistência do agregado. Ou seja, a composição química e mineralógica das fases sólidas tem menor importância que suas características físicas. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

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 não é influenciada diretamente pela dimensão e pela forma do agregado. Indiretamente, o agregado maior produz maior quantidade de água de exsudação interna acumulada, enfraquecendo a zona de transição na interface pasta-agregado o que gera uma ruptura por cisalhamento na superfície da partícula do agregado. Ou seja, o concreto rompe na pasta, o ponto mais fraco, e não no agregado graúdo.

Estudos anteriores indicam que, para o concreto poroso a graduação, tamanho das partículas e a relação massa de agregado por massa de cimento são fatores que afetam diretamente a porosidade, permeabilidade e resistência a compressão (HUANG *et al*., 2009).

A granulometria tem efeito na demanda de água, na trabalhabilidade, densidade, segregação e acabamento de um concreto (PRETUCCI, 1973). Agregados com excessiva quantidade de finos requerem maior quantidade de cimento visto que há necessidade de envolver uma superfície maior. Isso vale também para o agregado graúdo, ao diminuir o DMC para preencher o mesmo volume aumenta-se a área superficial, portanto requer mais pasta de cimento para envolver o agregado, ou caso contrario, o agregado fica mais seco (OSPINA e ERAZO, 2007)

2.3.2 Cimento

Geralmente utiliza-se cimento Portland comum, mas, pode-se utilizar cimentos especiais de acordo com as condições de exposição e tipo de cura, já que o concreto poroso tem cura rápida devido a sua estrutura alveolar que permite a circulação de ar. (OSPINA e ERAZO, 2007)

Um grande consumo de cimento irá produzir um concreto mais resistente, por outro lado reduz a porcentagem de vazios interconectados entre si, perdendo sua capacidade de infiltração. Recomenda-se utilizar consumo de cimento entre 270 kg/m³ e 415 kg/m³ para seguir os requisitos de resistência e permeabilidade (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007). O concreto poroso é produzido com mais cimento que o concreto denso (FERGUSON, 2005).

2.3.3 Relação Água/Cimento

A água utilizada na produção do concreto tem duas funções principais: reagir quimicamente com as partículas de cimento e controlar a trabalhabilidade (AÏTCIN,1995 apud PRADO, 2006).

Assim como no concreto convencional a relação a/c e a resistência a compressão estão relacionadas inversamente, porém no concreto poroso a relação é ainda mais complexa devido à água exercer função de lubrificante quando se trata do adensamento e deve variar de 0,35 a 0,5 quando for é feito por compactação (OSPINA e ERAZO, 2007).

A quantidade de água tem grande influência nas propriedades da mistura. No estado fresco, uma pequena quantidade de água resulta em uma massa sem consistência e com baixa resistência e uma grande quantidade de água gera uma pasta que sela os vazios e que lava o cimento da superfície do agregado, produzindo uma baixa resistência ao desgaste superficial (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

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

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

2.3.4 Aditivos

Aditivos são substâncias acrescentadas ao concreto para melhorar suas propriedades como resistência mecânica e durabilidade. Aditivos químicos geralmente são encontrados na forma líquida e são adicionados ao concreto em pequenas quantidades (FERGUSON, 2005). São empregados de acordo com a necessidade de se obter produtos com qualidade superior, porque modifica ou proporciona propriedades ao material fresco ou endurecido, tornando-os mais trabalháveis, mais resistentes as solicitações mecânicas e químicas ou ainda torná-los mais econômicos e duráveis. (TARTUCE, 1990)

Os aditivos químicos são classificados principalmente pela função que possuem, como por exemplo:

Os plastificantes permitem reduzir a água de amassamento com ganho na trabalhabilidade e aumenta o abatimento sem causar perda da pasta de cimento do agregado (FERGUSSON, 2005). Os aditivos retardadores atrasam o tempo de pega do cimento durante

o transporte, é utilizado para concreto poroso moldado em loco afim evitar a perda de água de amassamento e a necessidade de alto fator água/cimento.

Aditivos minerais são utilizados com o intuito de melhorar a consistência e reduzir o tamanho da zona de transição entre o agregado e a argamassa, que é considerada a parte menos resistente do conjunto. (KIM e LEE, 2010).

A utilização de sílica ativa demanda mais água para manter a trabalhabilidade da mistura, por isso recomenda-se o uso de outra adição química. Lian e Zhuge (2010) mostram que a adição de sílica ativa (10%) representa um pequeno aumento da resistência a compressão, e que adicionando além da sílica ativa (7%) o superplastificante (0,8%) gera maior ganho em resistência. Isso se deve ao fato de as partículas de sílica ativa serem distribuídas uniformemente e preencherem os capilares da pasta de cimento sem perda da permeabilidade. A sílica ativa exerce influência positiva na resistência a compressão tanto no concreto poroso quanto no concreto convencional.

2.4 MÉTODO DE DOSAGEM

Azañedo, Helard e Muñoz (2007) utilizaram para a dosagem do concreto poroso o método do ACI, recomendações do comitê 522 e estudos realizados por organizações americanas. Realizou-se o experimento em três etapas, na primeira, estudou as características dos agregados e cimento que seriam utilizados, e determinou traços iniciais. Visto que nos três traços, foram modificadas as quantidades de todos os materiais, mas em todos os traços havia pouco agregado fino. Depois de avaliar o melhor desempenho dos traços anteriores, passou a segunda etapa que consistia em adicionar ao melhor dos três traços tiras de plástico em diferentes porcentagens. Escolheu o traço que apresentou o melhor comportamento para melhorar suas propriedades com aditivo redutor de água e fibra sintética para reforço.

2.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO POROSO

2.5.1 Concreto no estado fresco

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

2.5.2 Concreto no estado endurecido

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

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

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho consiste em um estudo realizado para avaliar as propriedades do concreto poroso produzido com materiais da região de Goiânia. Para a determinação do traço foram levados em conta estudos anteriores, utilizando agregados graúdos, com nenhum fino, sem aditivos e sem cura úmida.

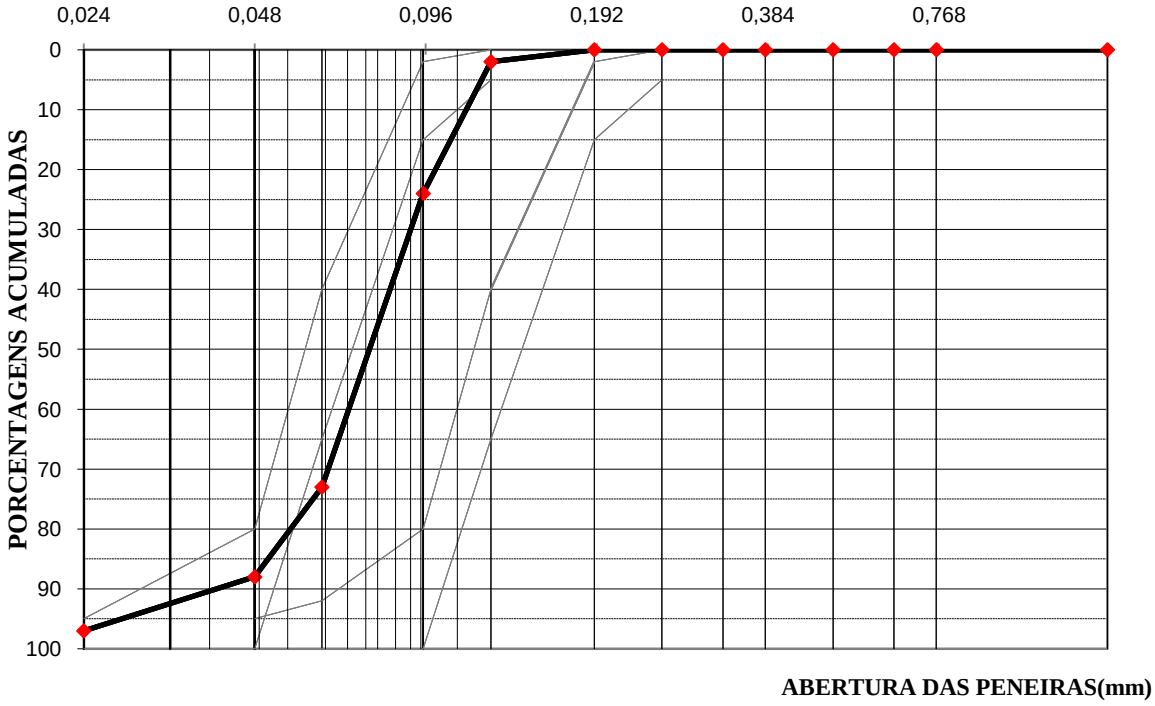
Inicialmente fez-se caracterização dos materiais, estabeleceu-se o traço e os corpos de prova foram produzidos. A partir de ensaios realizados no laboratório de materiais de construção da EEC – UFG foram feitas analises e avaliações do desempenho do concreto poroso produzido

3.1 Ensaios de caracterização

3.1.1 Granulometria

A determinação da composição granulométrica foi realizada conforme a norma NBR NM:248 (2003) após a redução da amostra feita por quarteamento de acordo com a NBR NM 27 (2001), o material foi disposto no agitador mecânico de peneiras. Em seguida as massas retidas foram pesadas e as porcentagens retidas estão representadas na curva granulométrica a seguir.

Figura 3 – Caracterização granulométrica do agregado graúdo – NBR NM 248 (2003)



A brita utilizada é facilmente encontrada na região da cidade Goiânia, trata-se de brita extraída de rocha de micaxisto. Pelo ensaio de composição granulométrica não foi possível ser caracterizada, apesar de ser comercializada como brita zero. Como se pode observar na Figura 3.

O agregado graúdo possui outros parâmetros de caracterização como o módulo de finura e o diâmetro máximo característico. O módulo de finura é um parâmetro de referência muito utilizado, obtido pela soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da serie normal.

O diâmetro máximo característico é o tamanho máximo que corresponde à abertura da peneira na qual fica retida acumulada uma porcentagem menor ou igual a 5% (PRETRUCCI, 1973). Os resultados estão descritos no quadro a seguir:

Tabela 2 – Caracterização granulométrica do agregado graúdo

Dimensão máxima característica	12,5 mm
Módulo de finura	6,1

3.1.2 Dosagem

De acordo com a NBR 12655 (2001) a dosagem empírica pode ser realizada para concretos da classe C10 com consumo mínimo de 300 quilogramas de cimento por metro cúbico. Para essa dosagem estabeleceu-se o consumo de 420 quilogramas de cimento por metro cúbico de concreto.

Como não há método de dosagem normalizado, para determinar o traço usou-se como base a relação água/cimento e o consenso entre a maioria dos trabalhos anteriores que indicam que as maiores resistências são obtidas a partir das composições 1:4 e 1:3 (cimento: agregado).

Para determinar a relação água/cimento utilizamos o mínimo encontrado na revisão bibliográfica para que pudéssemos produzir uma maior resistência, tendo em vista que, a relação água/cimento e a resistência a compressão são inversamente proporcionais.

Utilizou-se de materiais abundantes na cidade de Goiânia, brita zero de rocha de micaxisto e cimento Portland CP II F-32.

3.1.3 Moldagem dos corpos de prova

Para avaliar as características do concreto poroso produzido, foi feita a moldagem de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de acordo com a NBR 5738 (2003). O corpo de prova cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. E o corpo de prova prismático é uma viga de 50 cm de comprimento por 15 cm de largura e 15 cm de altura.

Figura 4 – Moldagem dos corpos de prova prismáticos de concreto poroso

Os corpos de prova cilíndricos (Fig. 5) foram desmoldados 24 h após o momento de moldagem e ensaiados com idade de 28 dias a compressão de acordo com a NBR 5739 (1994). E os corpos de prova prismáticos foram desmoldados após 48 h e ensaiados a tração na flexão com idade de 28 dias de acordo com a NBR 12142 (2010).

Figura 5 – Corpos de prova cilíndricos de concreto poroso

3.1.4 Adensamento

Em alguns países o concreto poroso é comumente moldado em loco, portanto a técnica de adensamento mais empregada é a compactação com rolo.

A fim de evitar segregação do concreto o adensamento foi realizado em mesa vibratória em ciclos de 30 segundos a cada camada. A quantidade de camadas foi estabelecida conforme a NBR 5738 (2003), três camadas para corpos de prova prismáticos e cilíndricos.

Figura. 6 – Adensamento em mesa vibratória

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO

3.2.1 Índice de vazios e absorção

O índice de vazios e a absorção de água foram determinados de acordo com o ensaio especificado pela NBR 9778 (1987).

Tabela 3 – Resultados do ensaio de determinação da absorção de água por imersão e índice de vazios. (NBR 9778)

Ensaio	Traço 1:3	Traço 1:4
Absorção de Água (%)	5,77	6,30
Volume de vazios (%)	15,25	16,67

3.2.2 Massa específica

A massa específica do concreto foi determinada pelo ensaio descrito na NBR 9778.

Tabela 4 – Resultado do ensaio de determinação de massa específica do concreto. (NBR 9778)

Ensaio	Traço 1:3	Traço 1:4
Massa Específica da Amostra Seca (g/cm³)	2,64	2,65
Massa Específica da Amostra Saturada (g/cm³)	2,80	2,81

3.3 ENSAIOS DE CONTROLE

De acordo com a NBR 12655 os ensaios de controle de aceitação do concreto que devem ser feitos são:

3.3.1 Ensaio de consistência ou slump test

O ensaio de consistência foi realizado pelo abatimento do tronco de cone conforme a NBR NM 67(1998).

Figura 7 – Execução do ensaio de consistência – Slump Test

O ensaio foi realizado aplicando-se 25 golpes com haste em cada uma das três camadas, e após foi feita a retirada do molde e a medição do assentamento do concreto (Fig.8).

Figura 8 - Medição do abatimento do cone – Slump Test

A norma prevê que se ocorrer o desmoronamento da massa de concreto ao realizar o desmolde de modo que impeça a medição do assentamento, o ensaio deve ser desconsiderado e deve ser realizada nova determinação sobre outra porção de concreto da amostra. E se ocorrer desmoronamento consecutivo nos dois ensaios o concreto não é considerado necessariamente plástico e coeso para a aplicação do ensaio de abatimento.

Os ensaios de abatimento dos dois traços foram considerados desmoronados, ou seja, o concreto não é necessariamente plástico e coeso para ser avaliado por esse ensaio.

3.3.2 Ensaio de resistência a compressão simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados de acordo com NBR 5739(2003). Os resultados estão apresentados a seguir.

Tabela 5 – Resistência a compressão - traço 1:4 e a/c 0,30

CP nº	Carga Máx (kgf)	Resistência (MPa)
1	8900	11,33
2	8200	10,44
3	8200	10,44
4	8300	10,57
	Média=	10,70

Tabela 6 – Resistência a compressão - traço 1:3 e a/c 0,26

CP nº	Carga Máx (kgf)	Resistência (MPa)
1	7500	9,55
2	6900	8,79
3	7400	9,42
4	7700	9,80
	Média=	9,39

3.3.3 Ensaio de tração na flexão

Esse ensaio foi realizado conforme a norma NBR 12142 (2010). Consiste em um corpo de prova de seção prismática submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até a ruptura. Um diagrama esquemático do ensaio esta demonstrado na figura 9.

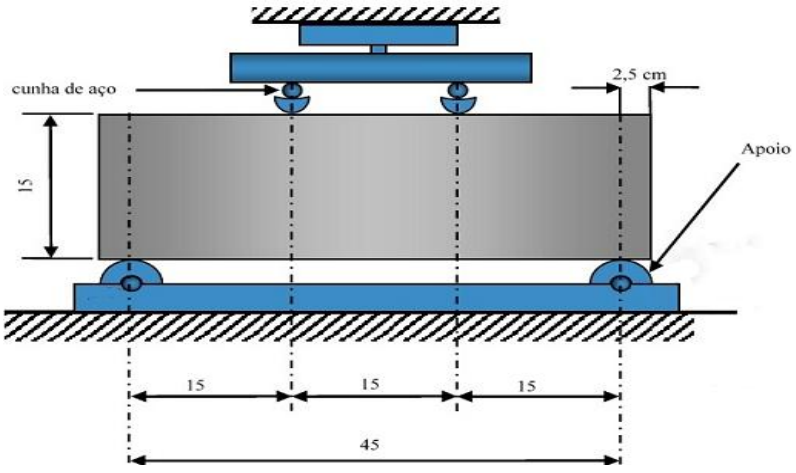


Figura 9 – Diagrama esquemático do ensaio de tração na flexão

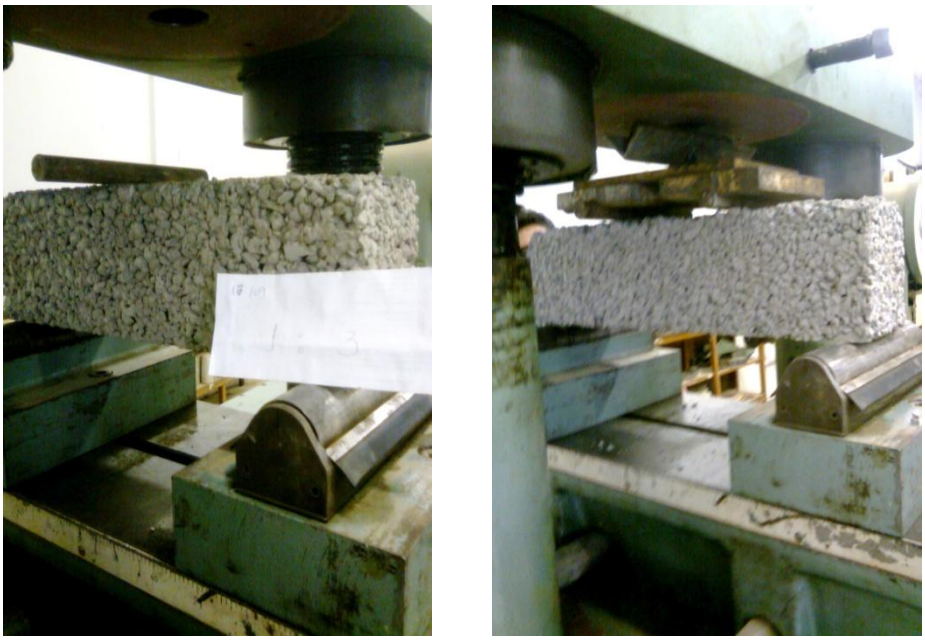


Figura 10 – Execução do ensaio de tração na flexão.

Para ruptura no terço médio, a resistência a tração na flexão é calculada pela fórmula:

$$\sigma_{máx} = \frac{P \times L}{B \times h^2}$$

Onde,

P = carga de ruptura, em KN.

L = distancia livre entre apoios, em mm;

B = largura da peça, em mm

h = altura da peça, em mm

Os resultados do ensaio de tração a flexão estão representados nas tabelas 7 e 8 como se segue:

Tabela 7 – Resistência a tração na flexão a 28 dias - traço 1:3 e a/c 0,26

CP nº	Carga Máx (kgf)	Resistência (MPa)
1	2300	0,92
2	2200	0,88
	Média=	0,90

Tabela 8 – Resistência a tração na flexão - traço 1:4 e a/c 0,30

CP nº	Carga Máx (kgf)	Resistência (MPa)
1	1400	0,47
2	1300	0,53
	Média=	0,50

3.4 PERMEABILIDADE

Não foram realizados ensaios de permeabilidade do concreto. Foi produzida uma placa para cada traço para que fosse possível demonstrar que o concreto cumpre sua principal função que é permitir a passagem de água através de seus vazios. Como se pode observar na Figura 11.

Figura 11 – Demonstração de permeabilidade

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O concreto poroso sem aditivo apresenta resistência a compressão de 7 a 14 MPa para concretos com finos (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007) e sem finos de 12 a 19 MPa (LIAN e ZHUGE, 2010). Neste estudo obteve-se resistência a compressão de 9,4 MPa para o traço 1 e de 10,7 MPa para o traço 2. Esses valores representam resistências aceitáveis considerando que o concreto não possui nenhum tipo de adição química ou mineral. Vale ressaltar que as adições podem aumentar os valores de resistência a compressão de 14 MPa para 20MPa (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007), em casos com adições de tiras de polietileno, e de 19 MPa para 46 MPa em casos com adições de areia, sílica e superplastificante (LIAN e ZHUGE, 2010).

Os valores de resistência a tração na flexão de 0,5 MPa para o traço 1 e 0,9 MPa para o traço 2 obtidos nesse estudo estão muito abaixo do mínimo indicado pelo DNER para pavimentos de concreto que é de 4,5 MPa. Em trabalhos anteriores o concreto poroso apresentou resistência a tração na ordem de 3,0 MPa (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007). Visto que a máxima resistência a tração na flexão produzida anteriormente de 4,2 MPa é menor que a mínima indicada para a construção de pavimentos, deve-se a descartar a utilização deste concreto como parte estrutural de pavimentos. O que não descarta sua utilização com a finalidade de revestir superfícies destinadas ao tráfego de cargas moderadas.

O agregado utilizado não apresentou distribuição granulométrica dentro dos limites de graduação definidos pela NM 248 e exigidos pela NBR 7211 para a produção de concretos. Sendo que não existe especificação normalizada no Brasil de granulometria do agregado para concreto poroso. O indicado é que o agregado seja de graduação aberta, com insuficiência de finos.

O concreto produzido não é coeso, por isso o ensaio de abatimento não pôde ser utilizado para medir a consistência, e o que se pôde observar é que o concreto poroso possui pouca trabalhabilidade, e o processo de adensamento deve ser realizado com bastante cuidado a fim de evitar a segregação da pasta de cimento.

A relação água/cimento de 0,30, em conjunto com uma maior quantidade de cimento, apresentou os melhores resultados de resistência a compressão e de resistência a tração na flexão. Apesar de a quantidade de água ser de extrema importância no que diz respeito as propriedades do concreto como resistência a compressão e a trabalhabilidade, por si só a relação água/cimento não produz altas resistências.

O traço 1 (1:3) apresentou menor volume de vazios se comparado ao traço 2 (1:4), isso se deve ao fato de que o primeiro traço possui maior quantidade de cimento comparado ao traço 2, e o cimento interliga os poros diminuindo a quantidade de vazios e a permeabilidade com um pequeno aumento da resistência a compressão.

A cura exerce papel importante na resistência a tração na flexão. O resultado de resistência a tração na flexão pode ter sido causado pela falta de cura úmida e pela baixa relação água/cimento que resulta em uma zona de transição fraca e porosa. Por isso recomenda-se que estudos sejam realizados a fim de determinar a influência da cura úmida na resistência a tração na flexão do concreto poroso.

5. CONCLUSÃO

O concreto poroso é sem dúvida um grande aliado na busca de soluções para o gerenciamento de águas pluviais a fim de reduzir os impactos da urbanização.

O aumento do consumo de cimento não representou ganho de resistência, por isso pode-se concluir que o aumento de cimento não é a solução para este tipo de concreto. Este trabalho é o piloto que permite que se desenvolvam novos estudos a partir dele para a obtenção de resultados cada vez melhores.

Deste trabalho, cujo objetivo era avaliar as características do concreto poroso produzido com materiais da região de Goiânia. Pode-se concluir que é de fundamental importância que se utilize de materiais de boa qualidade e mecanismos como adições minerais, químicas e fibras para que se possam obter melhores propriedades deste material que tem apresentado bom desempenho do ponto de vista técnico.

Bibliografia

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

ALVES, F. A. de O.; COSTA, A. R. **Técnicas compensatórias no controle de cheias urbanas**. In: CURSO Básico de Hidrologia Urbana. Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Dep. Eng. Civil da Universidade Federal de Goiás, 2007. Cap. 5, p. 54-66.

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

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH, 2005. Cap. 6, pg. 216-225.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentos rígidos.** 2. Ed – Rio de Janeiro, 2005 **.**

FERGUSON, B. K., **Porous pavements**. Boca Raton: CRC Press, c2005.

FERGUSON, B. K., **Stormwater infiltration**. Boca Raton: Lewis, c1994.

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

KIM, H.K., LEE, H.K. **Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete**. Elsevier Journal. Applied Acoustics, 2010.

LIAN, C. ZHUGE, Y. **Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation.** Elsevier Journal Constrution and Building Materials, 2010.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. **Concrete: structure, properties, and methods.** 2ª Ed. Prentice Hall, New Jersey, 1993.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. **Concreto: micorestrutura propriedades e materiais.** 3ª Ed. Ibracon, São Paulo, 2008.

NBR 12142 - Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, Rio de Janeiro, 2010

NBR 12655 – Concreto - preparo, controle e recebimento, Rio de Janeiro, 2001

NBR 5738 – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova, Rio de Janeiro, 2003.

NBR 5739 – Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 1994.

NBR 7211 Agregado para Concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2005

NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 1987.

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

NBR NM 27 Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, Rio de Janeiro, 2001.

NBR NM 45– Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 1982.

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

OSPINA, C. M. M, ERAZO, C. H. B. Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto **poroso en los pavimentos según El tipo de granulometría.** Medellín, 2007

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland**. 2. ed.. Porto Alegre, Ed. Globo, 1973, 277 p.

PRADO, L.A., **Módulo de deformação estático do concreto de Baixa e alta relação a/c pelo método ultra-sônico**, 2006, 226p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

SILVA, M. B. **Materiais de Construção.** São Paulo. 2ª Ed. Rev. PINI, 1991

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

URBONAS, B.; STAHRE, P., 1993. **Stormwater Best Management Practices and Detention.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

YANG Z., MA W., SHEN W., ZHOU M., **The Aggregate Gradation for the Porous Concrete Pervious Road Base Material.** Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 2008

YANG, J., JIANG, G., **Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials**, Cement and Concrete Research, Elsevier, vol.33, P. 381-386, 2003.