

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

JÁDER CRISTIAN FERNANDES

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO PARA CONFECÇÃO
DE PISOS PERMEÁVEIS**

VOLTA REDONDA

2018

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO PARA CONFECÇÃO
DE PISOS PERMEÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais, linha de pesquisa em Materiais Compósitos.

Aluno:

Jáder Cristian Fernandes

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

VOLTA REDONDA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

F363f Fernandes, Jáder Cristian.

Fabricação e caracterização de compósitos de concreto com adição de fibra de coco para confecção de pisos permeáveis. / Jáder Cristian Fernandes. - Volta Redonda: UniFOA, 2018.

74 p. : Il

Orientador (a): Profº Drº Ricardo de Freitas Cabral

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2018

1. Materiais - dissertação. 2. Fibra de coco - concreto. 3. Piso permeável. I. Cabral, Ricardo de Freitas. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

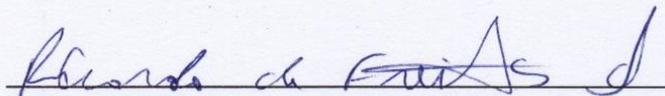
Aluno: Jáder Cristian Fernandes

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE CONCRETO
COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO PARA CONFECÇÃO DE PISOS
PERMEÁVEIS**

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

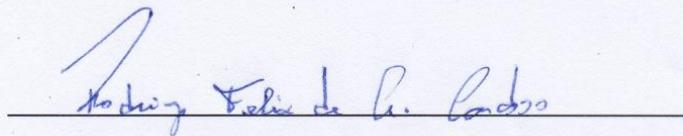
Banca Examinadora



Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral



Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato



Prof. Dr. Rodrigo Felix de Araujo Cardoso

Dedico esta dissertação à Deus, minha família, meus mestres e meus amigos.

“Mas graças a Deus, que sempre nos conduz vitoriosamente em Cristo e por nosso intermédio, exala em todo lugar a fragrância do seu conhecimento”

2 Coríntios 2:14

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a Deus por estar sempre comigo e me dar força para sempre seguir em frente;

À minha esposa Fabíola, meus filhos Júlia (5 anos) e Lucca (que nasceu no decorrer deste trabalho), por toda paciência, suporte e carinho durante essa caminhada;

Aos meus pais, Júlio e Mônica, que com simplicidade e maestria me tornaram uma pessoa com princípios;

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral, pelas orientações, motivações e contribuições em todo desenvolvimento deste trabalho;

Ao coordenador do MEMAT Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago pela excelência na condução de todos os assuntos acadêmicos;

Aos técnicos, secretárias e demais funcionários do UniFOA meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A impermeabilização em massa dos centros urbanos criou o problema de enchentes e enxurradas nessas áreas, tornando-se não só um problema ambiental, mas também social, pois, provoca danos à saúde e à economia local. Para auxiliar na busca de soluções para este problema, as pesquisas e também produções de diferentes pisos permeáveis já têm sido empregadas em pavimentações, porém, em baixa escala, pela pouca divulgação e altos custos dos produtos presentes no mercado. Esta dissertação é um estudo e fomento que visa à utilização da fibra de coco para melhorar as propriedades mecânicas do concreto permeável e analisar a viabilidade técnica e de custo do projeto, respeitando os requisitos mínimos exigíveis na execução e manutenção de placas de concreto permeável conforme NBR 16416:2015. A metodologia adotada deste trabalho consistiu de selecionar os materiais: brita nº0, cimento Portland e água para confecção dos CP's de controle e substituição volumétrica parcial da brita por 10%, 20% e 30% de fibra de coco em traços de concreto para confecção dos demais CP's. Após a confecção dos CP's, eles foram levados aos ensaios para análise da resistência à compressão com rompimento em 7, 14, 21 e 28 dias. E também foram realizados ensaios de tração à flexão, rompidos após 28 dias de vida registrando assim todos os resultados. Foram realizados também os ensaios não destrutivos de imersão em água para determinação do índice de vazios, absorção de água e coeficiente de permeabilidade. A análise morfológica por meio do MEV (microscópio eletrônico de varredura) finalizou a fase dos ensaios. Os resultados apontam que o compósito objeto de estudo é viável tecnicamente com destaque para as amostras de 10% de substituição pela fibra de coco. Os estudos demonstraram excelentes resultados para o coeficiente de permeabilidade, pois obtiveram cerca de 400% ao que é solicitado em norma alcançando cerca de 4×10^{-3} m/s e outros bons resultados nos ensaios de Compressão Axial atingindo valores na ordem de 12MPa e tração na flexão com 2,3MPa, ficando também evidentes as interações na análise morfológica no MEV.

Palavras-chave: fibra de coco, concreto, piso permeável, piso drenante.

ABSTRACT

The massive waterproofing of urban centers has created a problem of floods and flash floods in these areas, becoming not only an environmental problem, but also a social one, since it causes damage to the health and local economy. In order to aid in the search for solutions to this problem, the researches and also productions of different permeable floors have already been used in pavements, but in a small scale, due to the low disclosure and high costs of the products present in the market. This dissertation is a study and fomentation that aims at the use of coconut fiber to improve the mechanical properties of the permeable concrete and to analyze the technical and cost feasibility of the project, respecting the minimum requirements required in the execution and maintenance of permeable concrete NBR 16416: 2015. The methodology adopted selected the following materials: gravel n^o0, Portland cement and water for confection of the control CPs and partial volumetric replacement of the gravel by 10%, 20% and 30% of coconut fiber in concrete traces for confection of the (CPs). After the confection of the CPs, they were taken to the tests for analysis of the compressive strength with rupture in 7, 14, 21 and 28 days. Bending traction tests were also performed, ruptured after 28 days of life, recording all the results. Non-destructive water immersion tests were also carried out to determine the voids index, water absorption and permeability coefficient. The morphological analysis by SEM (scanning electron microscope) finalized the phase of the tests. The results indicate that the composite object of study is technically feasible, with emphasis on the samples of 10% replacement by the coconut fiber. The studies showed excellent results for the permeability coefficient, since they obtained about 400% of what is requested in the standard reaching about $4 \times 10^{-3} \text{ m / s}$ and other good results in the tests of Axial Compression reaching values in the order of 12MPa and traction in the flexion with 2,3MPa, being also evident the interactions in the morphological analysis in the SEM.

Keywords: coconut fiber, concrete, permeable floor, draining floor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pavimento intertravado	24
Figura 2: Pavimento de concreto simples	25
Figura 3: Pavimento de concreto armado	25
Figura 4: Relação A/C X Resistencia do cimento.....	27
Figura 5: Estrutura do fruto de Cocos nucifera L.....	29
Figura 6: Intertravados - Peças de concreto com juntas alargadas.....	31
Figura 7: Intertravados - Peças de concreto áreas vazadas	31
Figura 8: Intertravados - Peças de concreto permeável.....	32
Figura 9: Placas de concreto permeável	32
Figura 10: Revestimento de concreto permeável moldado no local	33
Figura 11: Fluxo de trabalho.....	34
Figura 12: Fibra de coco ainda na embalagem da VITAPLAN	35
Figura 13: Fibra de coco em comparação a um objeto	35
Figura 14: Cimento Portland CPIII - 40 RS	36
Figura 15: Brita nº 0.....	37
Figura 16: Betoneira Menegotti (a).....	38
Figura 17: Betoneira Menegotti (b).....	38
Figura 18: Formas zincadas para CP's cilíndricos	39
Figura 19: Formas de pinus para CP's prismáticos	39
Figura 20: Formas sendo besuntadas com óleo mineral.....	40
Figura 21: Rompimento dos CP's na EMIC PC150C	41
Figura 22: Cálculo de tensão realizado pela EMIC PC150C	42
Figura 23: Secagem dos CP's em estufa	42
Figura 24: Pesagem dos CP's secos	43
Figura 25: Pesagem do CP saturado por 72h	43
Figura 26: Esquema par pesagem dos CP's imersos em água.....	44
Figura 27: MEV Hitachi modelo TM 3000.....	45
Figura 28: CP Rompido já no MEV	45
Figura 29: Esquema de marcações nos CP's e montagem na prensa.....	45
Figura 30: CP rompido na prensa após realização do ensaio de tração à flexão.....	46
Figura 31: Esquema de ruptura do corpo de prova no ensaio de tração na flexão ...	47
Figura 32: Montagem do ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade (a).....	47
Figura 33: Montagem do ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade (b).....	47
Figura 34: Determinação do coeficiente de permeabilidade	48
Figura 35: Resultados do teste de compressão axial – 7 dias	51
Figura 36: Resultados do teste de compressão axial – 14 dias	52
Figura 37: Resultados do teste de compressão axial – 21 dias	53
Figura 38: Resultados do teste de compressão axial – 28 dias	54
Figura 39: Comparação dos resultados da Resistência a compressão Axial em relação ao tempo de vida	55
Figura 40: Resultados da absorção de água por imersão	56

Figura 41: Resultados da determinação do índice de vazios	58
Figura 42: Imagem estrutural 100x (controle).....	59
Figura 43: Imagem estrutural 2000x (controle).....	59
Figura 44: Imagem estrutural 500x (10%)	59
Figura 45: Imagem estrutural 1000x (10%)	59
Figura 46: Imagem estrutural 100x (20%)	60
Figura 47: Imagem estrutural 500x (20%)	60
Figura 48: Imagem estrutural 25x (30%)	60
Figura 49: Imagem estrutural 1000x (30%)	60
Figura 50: Resultados Tração na flexão (28 dias).....	62
Figura 51: Comparação dos resultados de tração na flexão com a norma NBR 16416/2015. [15]	63
Figura 52: Resultados Coeficiente de Permeabilidade (28 dias).....	65
Figura 53: Comparação dos resultados da Permeabilidade com a NBR 16416 [15].	65
Figura 54: Comparação dos resultados obtidos nos diversos testes	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Granulometria das Areias.....	21
Tabela 2: Granulometria das Britas.....	22
Tabela 3: Exigências físicas e mecânicas do cimento Portland.....	23
Tabela 4: Constituintes dos Cimentos Portland.....	36
Tabela 5: Traço e consumo (litros) para 1m ³ de concreto.....	38
Tabela 6: Formulações do traço de concreto (1m ³) para moldagem dos CP's.....	39
Tabela 7: Confecção dos corpos de prova.....	39
Tabela 8: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 7 dias.....	50
Tabela 9: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 14 dias.....	51
Tabela 10: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 21 dias.....	53
Tabela 11: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 28 dias.....	54
Tabela 12: Resultados da absorção de água por imersão.....	56
Tabela 13: Resultados da determinação do índice de vazios.....	57
Tabela 14: Resultados da resistência à tração na flexão.....	61
Tabela 15: Resultados da determinação do coeficiente de permeabilidade.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

\approx = Símbolo que representa valor aproximado de uma medida física ou monetária.

a/c = Fator da razão entre a água(volume) e o cimento(volume), que relaciona-se com a resistência particularidade do concreto “Fck”. [1]

ABNT = Abreviação de Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP = Corpo de prova, que será submetido a testes chamados na Engenharia de “ensaios”.

Fc = Resistência característica de um concreto.

Fcj = Resistência característica de um concreto após um período “j” de processo de cura.

Fck = Resistência à compressão característica de um concreto depois do processo de cura (F=Resistência / c=compressão / k=característica)

Fig. = Abreviação da palavra Figura.

Ftk = Resistência à tração característica de um concreto depois do processo de cura.

g = (Grama) Que é a unidade para quantidade de massa padronizada no SI - Sistema Internacional de Unidades, comumente utilizada em cálculos matemáticos e físicos.

h = (Hora) Unidade de para tempo que equivale a 60 minutos ou 3600 segundos.

Iv = Índice de Vazios característico do concreto que e é obtido e calculado através do ensaio de absorção de água.

kg = (Quilograma) Que é a unidade para quantidade de massa padronizada no SI - Sistema Internacional de Unidades, equivalente a 1000g comumente utilizada em cálculos matemáticos e físicos.

kgf = (Quilograma força) Unidade da intensidade de força ou peso, que é definida pelo SI - Sistema Internacional de Unidades, comumente utilizada em cálculos matemáticos e físicos, equivalente à 1kg m/s^2 .

kN = (Quilo Newton) Unidade para Pressão que equivale a 100kgf no SI, comumente utilizada em cálculos matemáticos e físicos.

MEV = Microscópio Eletrônico de Varredura. Ele é o equipamento que usa uma tecnologia onde feixes de elétrons secundários são capazes de aumentar uma Imagem muitas vezes em relação à visão humana, permitindo assim, a ampliação microscópica de materiais, para sua análise morfológica e estrutural.

MPa = (Mega Pascal) Unidade para medir força, pressão ou tensão (em esforços de compressão ou tração por exemplo) do SI, comumente utilizada em cálculos matemáticos e físicos, é equivalente a 1.000kN/m².

N = (Newton) Unidade de intensidade de força ou pressão, do “SI - Sistema Internacional de Unidades”, comumente utilizada em cálculos matemáticos e físicos.

NBR = Norma Brasileira.

Ø = Diâmetro de uma circunferência.

Pa = (Pascal) unidade para Pressão ou Tensão que equivale a 1 N/m² e/ou 0,1 kgf/m².

Ref. = Abreviatura para “referencial”. Referência para algo ou comparação. [2]

SAAE = Sigla de Serviço Autônomo de Água e Esgoto. Neste estudo o SAAE refere-se ao da Prefeitura Municipal de Volta Redonda.

Slump = Do termo em inglês “slump” (baixar; desmoronar). Teste para controlar e avaliar a fluidez do concreto, o mesmo que abatimento [1]

t = (Tonelada) Unidade para massa de um corpo que equivale à 1.000kgf (mil quilogramas força).

LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 1) Resistência à tração na flexão	27
(Equação 2) Resistência à tração na flexão	27
(Equação 3) Resistência à compressão	41
(Equação 4) Absorção de água.....	44
(Equação 5) Índice de vazios	44
(Equação 6) Resistência à tração na flexão	46
(Equação 7) Resistência à tração na flexão	46
(Equação 8) Coeficiente de permeabilidade.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. CONTEXTO	17
1.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.4. JUSTIFICATIVA	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. CONCRETO.....	20
2.1.1. Agregados	20
2.1.1.1. Agregado miúdo	21
2.1.1.2. Agregado graúdo.....	22
2.1.2. Cimento	22
2.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO	23
2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA PAVIMENTOS.....	26
2.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	26
2.5. Resistência à tração na flexão	27
2.6. RESÍDUO DE COCO	28
2.7. PAVIMENTO PERMEÁVEL	30
2.7.1. Definição.....	30
2.7.2. Tipos.....	30
2.7.2.1. Intertravados	31
2.7.2.2. Revestimento de pavimento de placas de concreto permeável	32
2.7.2.3. Revestimento de pavimento concreto permeável.....	32
2.7.3. Considerações.....	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. FLUXOGRAMA DE TRABALHO	34
3.2. MATERIAIS	34
3.2.1. Fibra de coco	35
3.2.2. Cimento	35
3.2.3. Brita	37
3.2.4. Água	37
3.3. MÉTODOS	37

3.3.1.	Concreto e sua Conformação	37
3.3.2.	Moldagem dos corpos de prova (CP's).....	39
3.3.3.	Ensaio de resistência à compressão	40
3.3.4.	Ensaio de imersão em água para determinação do índice de vazios e absorção de água	42
3.3.5.	MEV	44
3.3.6.	Ensaio de resistência à tração na flexão	45
3.3.7.	Ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1.	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	50
4.1.1.	Resultados com 7 dias de vida	50
4.1.2.	Resultados com 14 dias de vida	51
4.1.3.	Resultados com 21 dias de vida	52
4.1.4.	Resultados com 28 dias de vida	53
4.2.	ENSAIO DE IMERSÃO	55
4.2.1.	Absorção de água por imersão.....	55
4.2.2.	Determinação do índice de vazios.....	57
4.3.	MEV	58
4.4.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	61
4.5.	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE.....	63
4.6.	COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES DEMONSTRADAS NOS RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	66
5.	CONCLUSÕES	68
6.	TRABALHOS FUTUROS	69
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Devido ao contexto da humanidade em que existe cada vez mais impermeabilização do solo, o presente estudo baseia-se na confecção e análise de pisos permeáveis. Tais pisos podem ser definidos como os que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água vai percolar perante a precipitação. [3]

1.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A população humana passou a ocupar áreas cada vez maiores de solo, que, até o momento, não eram utilizados e se encontravam em seu estado natural. Com estes avanços, e às necessidades da sociedade em produzir alimentos e bens, bem como viver de maneira confortável, regiões rústicas e com grande área permeável se transformaram em grandes centros com solos cada vez mais impermeáveis. [3]

Este uso mais intenso do solo causou mudanças estruturais, alterações nos cursos e leitos d'água, matas e florestas foram derrubadas e em consequência sua paisagem natural foi alterada para uma vida cada vez mais urbana. As ações humanas foram moldando o meio ambiente e esta alteração da natureza proporcionou grandes avanços para a humanidade, porém, tem afetado o equilíbrio natural dos ecossistemas.

Tal avanço também colabora para que o solo tenha uma diversidade de problemas na qual, um deles, é a impermeabilização exagerada do solo, que impede a percolação natural da água das chuvas e causa a diminuição da recarga de água nos solos, diminuindo assim a disponibilidade de água nos períodos de pouca precipitação.

A impermeabilização excessiva do solo causa danos para as cidades e ao seu redor. Os microclimas formados nos centros urbanos têm influência direta nos climas das regiões agrícolas próximas às cidades. A redução desta área de percolação nas áreas urbanas também colabora com o aumento do escoamento de água pela superfície ou por condutos, fazendo que essas águas que deveriam percolar em determinada região sejam transferidas para jusante das bacias ou também para outras

bacias. Devido a estes fenômenos, rios podem ser assoreados, enchentes causadas, ilhas de calor que aumentam o consumo de energia, e outros problemas. [3]

Os órgãos governamentais têm procurado soluções que em geral são fundamentadas na drenagem das águas das precipitações de forma mais celerada para jusantes. Este recurso somente transfere uma possível inundação de um ponto ao outro, resolvendo somente em parte o problema. [3]

Os “paver’s” ou “pavimentos permeáveis” ou “pisos drenantes”, são também utilizados como ferramentas tecnológicas com a intenção de causar a penetração da água no solo, retardando assim o tempo de escoamento pela superfície ou ao menos, tentando devolver parte da capacidade do solo de realizar essa infiltração como era antes do processo de urbanização.

1.3. OBJETIVOS

Foram desenvolvidas e analisadas placas de piso permeável a base de concreto com adição do mesocarpo do coco (fibra), com percentuais selecionados afim de encontrar a dosagem que melhor atendesse às exigências das normas em vigência e com baixo custo de criação e manutenção. Esperavam-se resultados que atendessem a utilização em calçadas e pátios de circulação leve.

1.4. JUSTIFICATIVA

Desde a primeira revolução industrial, que ocorreu por volta de 1840, a humanidade progride tecnologicamente de maneira avassaladora, e com isso a criação de grandes centros urbanos tornou-se inevitável para a continuidade do progresso e maior conforto dos indivíduos inseridos neste contexto. Mas, tal progresso trouxe consigo alguns problemas e um deles foi abordado por este estudo, que é a impermeabilização excessiva dos solos.

A contribuição do estudo foi confeccionar e caracterizar placa de piso drenante afim de criar um produto que permitia a percolação da água mais facilmente para os lençóis freáticos que fossem também de baixo custo e com propriedades mecânicas que permitam a utilização em pavimentos de circulação leve. Para isso foi utilizada a fibra de coco com o propósito de reforçar tais propriedades e baixar o custo final do

traço de concreto, pois tratava-se na ocasião deste estudo de material em abundância em nosso país e muitas vezes descartado sem uma utilização adequada.

O presente estudo limitou-se à confecção e criação de placas de pisos permeáveis não levando em consideração o solo base e/ou sub-base a ser aplicado.

A missão dos engenheiros, biólogos e demais profissionais da área é estudar e descobrir cada vez mais materiais recicláveis, dando destino ecologicamente correto a materiais descartados em abundância, como as fibras naturais, para que se consiga viver de maneira confortável, moderna e em convívio harmônico com os recursos do planeta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO

Nos dias atuais o concreto é considerado um material compósito amplamente utilizado na construção civil, para diversas funcionalidades nos projetos como: telhas, vigas, paredes e também pavimentos no qual consiste este estudo. Tendo como componentes principais: o agregado miúdo (não utilizado neste estudo para preservação dos vazios), que são areias em suas diversas granulometrias; O agregado graúdo, que são as britas também em suas diversas granulometrias; O material chamado de ligante que é o cimento (CPIII foi o utilizado neste estudo) e também a água de amassamento, que inicia a pega do cimento quando com este é misturada. [4]

Visto a importância deste compósito, serão abordados todos os seus componentes visando análise comportamental mais ampla deste material e a sua utilização em pisos de concreto comuns e permeáveis.

2.1.1. Agregados

Por definição na engenharia civil, os agregados são materiais tidos como inertes, de apresentação granular, sem qualquer forma e/ou dimensões definidas. Apresenta propriedades apropriadas para compor misturas afim de se utilizar nos mais diversos tipos de obra. Sua apresentação se dá em diversas formas como, seixos rolados facilmente encontrados nos leitos de rios, como resultados de rochas fragmentadas em equipamentos britadores, em jazidas de alterações de rochas e escórias geradas em alto forno. [5]

Como os agregados são constituídos de materiais que podem assumir diversas formas e dimensões, pois são resultados de inúmeros efeitos naturais ou processos de britagem, eles podem ser classificados de determinadas maneiras como, com relação a sua composição mineralógica, origem e granulometria. [5]

Podem ser de origem natural (como encontrados na natureza), como exemplos, areias e pedregulhos ou de origem artificial (sofreram ações mecânicas de britagem / moagem) como exemplos, britas, pó de pedra e argila expandida.

A rocha que originou o agregado é o que determina a composição mineralógica, logo, o agregado pode ser considerado um “fragmento” da rocha mãe compartilhando assim a mesma composição mineral. São classificadas pela sua formação em:

Rochas sedimentares – que são as rochas que se derivam dos fragmentos transportados de muitas outras rochas que acabaram por serem depositadas através dos anos e com conseqüente aumento do peso, temperatura e também pressão se transformando assim em rochas.

Rochas ígneas ou magmáticas – que são as rochas que vêm do resultado da solidificação após o resfriamento do magma. Elas podem originar-se com ou sem a cristalização, ou mesmo abaixo da superfície como rochas plutônicas ou superficiais, sendo rochas vulcânicas. O principal componente a sílica.

Rochas metamórficas – que são aquelas que sofreram mudanças em sua estrutura e composição mineral. Essas mudanças se deram devidos aos agentes de intemperismo físico, temperatura, pressão e químico.

Os agregados que passam na peneira nº. 10 e são retidos na peneira nº. 200 são classificados como “Agregados miúdos”. Já os que são retidos na peneira nº. 10 são classificados como “Agregados graúdos”. [1]

2.1.1.1. Agregado miúdo

Eles são constituídos principalmente por areias em suas diversas granulometrias, mas que geralmente variam de 0,06mm a 2,00mm e são em sua maioria oriundas de jazidas de arenito e rochas sedimentares fragmentadas por intempéries que fragmentam as rochas originando as areias.

De modo geral e quase em sua totalidade elas são compostas de quartzo, feldspato e mica, apresentando também outros minerais em quantidades não expressivas em relação aos anteriores. [6]

A NBR 6502/1995 [6] Rochas e Solos [6] classifica granulometricamente as areias conforme Tabela 1.

Tabela 1: Granulometria das Areias

Granulometria das areias (mm)			
Fina	0,06	a	0,20
Média	0,20	a	0,60
Grossa	0,60	a	2,00

Fonte: NBR 6502/1995 [6]

A areia dentro do concreto tem principalmente a função de preencher certos vazios apresentados entre os agregados graúdos (britas), apesar de conferir mais resistência ao concreto, neste estudo ela não foi utilizada para garantir o não preenchimento dos vazios, parte fundamental da permeabilidade do concreto que será empregado na confecção de placas de pisos drenantes. [6]

2.1.1.2. Agregado graúdo

Os agregados graúdos utilizados no concreto em geral são as britas, com sua granulometria variando entre 2,4mm a 50,8mm. Essas britas geralmente originam-se de rochas de granito e basalto sendo partidas através de moagem, sendo separadas em diversos diâmetros e classificadas granulometricamente conforme a tabela 2.

Tabela 2: Granulometria das Britas

Granulometria das britas (mm)			
Brita 0	2,40	a	9,50
Brita 1	5,00	a	19,00
Brita 2	9,50	a	38,00
Brita 3	19,00	a	50,80

Fonte: NBR 6502/1995 [6] [6]

O emprego da brita tem o propósito de aferir uma maior resistência ao material, uma vez que a resistência a compressão da brita geralmente oscila de 80 a 200MPa fazendo assim que a resistência do concreto se torne maior, quanto maior for o diâmetro da brita. [1]

2.1.2. Cimento

O cimento é o material responsável por unir todos os agregados que, ao ser colocado junto à água, reage de forma ligante formando uma pasta que endurece e forma o concreto. Encontram-se normatizados no Brasil cinco modelos de cimento Portland, que são o CP-I, CP-II, CP-III, CP-IV e CP-V caracterizados por suas adições. O CP-I que não é mais produzido tinham suas adições limitadas ao gesso. O Cimento CP-II é um composto de clínquer Portland, gesso, escória de alto forno (CP-IIIE), pozolana (CP-IIIZ) e também filer de calcário (CP-IIIF). Os cimentos de modelo CP-IV

e CP-III são os antigos cimentos Portland pozolanico e também o Portland de alto forno e se diferenciam do CP-II Z e CP-II E pela quantidade de adições. E, por fim, o CP-V tem como principal atributo a alta resistência inicial, e mais uma variação pode também ser encontrada como CP-V RS, que possui resistência a sulfatos devido a incorporação de escória de alto forno. [7]

As condições mínimas de resistência a compressão aos 28 dias fazem também referência às classes do cimento que são 40, 32, e 25 MPa, exceto o CP-V. Nos dias atuais a classe 25 não é comercial, com os avanços atuais dos processos de produção, existirá apenas a classe 40.

A tabela 3 apresenta os aspectos físicos e mecânicos dos cimentos.

Tabela 3: Exigências físicas e mecânicas do cimento Portland

Tipo de cimento Portland	Classe	Finura		Tempo de pega		Expansibilidade		Resistência à compressão				
		Resíduo na peneira 75 mm (%)	Área específica (m ² /kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dia (MPa)	7 dia (MPa)	28 dia (MPa)	91 dia (MPa)
CP I	25	≤ 12,0	≥ 240						≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
	32		≥ 260	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
CP I-S	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
	25	≤ 12,0	≥ 240						≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
CP II E	25	≤ 12,0	≥ 240						≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
CP II Z	32		≥ 260	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
CP I-S	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III ⁽²⁾	25								≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 ⁽¹⁾
	32	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 ⁽¹⁾
	40								≥ 15,0	≥ 23,0	≥ 40,0	≥ 48,0 ⁽¹⁾
CP IV ⁽²⁾	25								≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 ⁽¹⁾
	32	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 ⁽¹⁾
CP V - ARI	32	≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	≤ 5 ⁽¹⁾	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-

(1) Ensaio facultativo.

(2) Outras características podem ser exigidas, como calor de hidratação, inibição da expansão devida à relação álcali-agregado, resistência a meios agressivos, tempo máximo de início de pega.

Fonte: ABCP, 2002. [8]

2.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO

A conformação de pavimentos onde o concreto é utilizado como matéria prima já é comum para tornar áreas como calçadas, pátios e outros mais acessíveis e com condições de uso no dia a dia pelas civilizações. Estes pavimentos se dividem inicialmente em duas áreas distintas, pavimentos flexíveis e rígidos. Os pavimentos flexíveis são essencialmente a construção de blocos intertravados conforme Figura 1, que são blocos pequenos, intertravados, com forma que propicie encaixes de um no

outro de modo a formar uma superfície única ao cobrir a superfície do solo. Em geral na estrutura dos pavimentos intertravados não são utilizadas armaduras e sua resistência depende fundamentalmente das camadas de subleito, sub-base e também base do solo. [4]

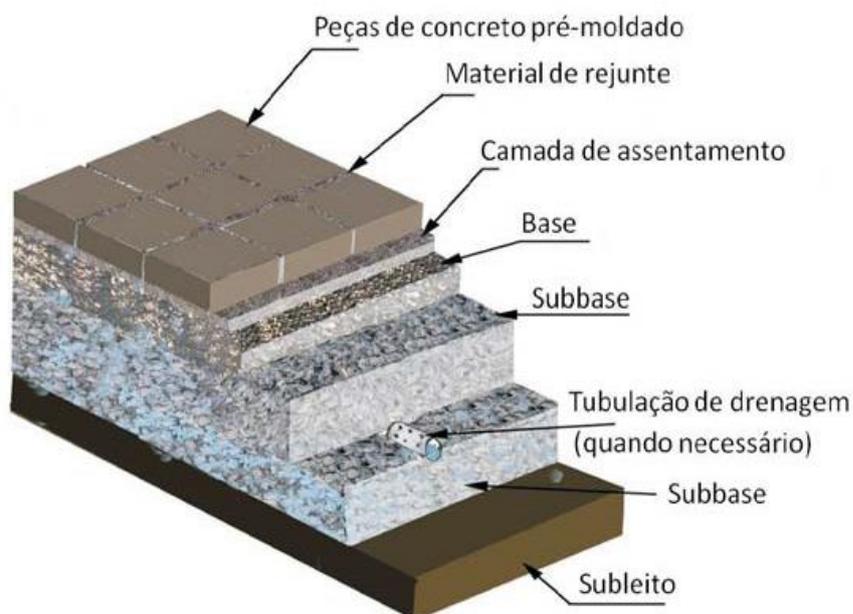


Figura 1: Pavimento intertravado
Fonte: PR-2 Associação Brasileira de cimento Portland [9]

Os pavimentos de concreto do tipo rígido podem ser divididos geralmente em pavimentos de concreto simples e de concreto armado.

Na Figura 2 são exibidos os pavimentos do tipo concreto simples que são placas de concreto que variam de 4,5m a 8,0m, não apresenta amarrações, possuem juntas transversais e longitudinais, onde as placas são postas sobre as camadas que formam a base, sub-base e subleito. Em geral as juntas precisam de um acessório que consistem em barras de transferência de carga para distribuir a carga aplicada sobre uma placa com as placas adjacentes a ela bem como para reduzir os casos de fissuras devido a compressão hidráulica inerente ao concreto. [4]

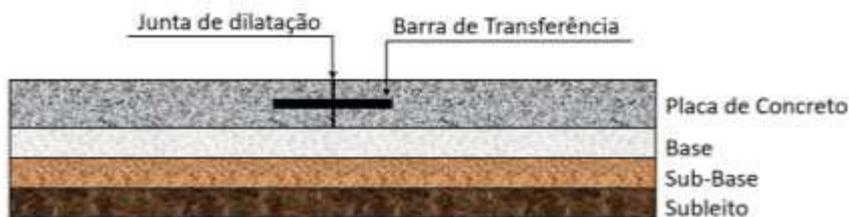


Figura 2: Pavimento de concreto simples
Fonte: BALBO,2009 [4]

As cargas que são aplicadas sobre o pavimento de concreto simples são por ele absorvidas e transferidas em parte ao solo (base, sub-base e subleito), até mesmo os esforços de tração na flexão, assim, nesta técnica de pavimentação é indispensável dimensionar todo o pavimento para que o concreto por si só resista aos esforços de tracionamento na flexão. [9]

Nos pavimentos de concreto armado a única diferenciação é que em sua seção ele apresenta malhas de ferro conforme Figura 3, gerando assim acréscimo de capacidade de carga uma vez que o aço absorve a maior contagem do esforço relativo a tração na flexão, enquanto o concreto atua na compressão. A utilização de malhas faz com que o este pavimento se torne mais capilar, facilitando assim a pavimentação e todo seu processo de execução. [9]

Esta armadura de ferro também faz com que os tamanhos das placas possam ser maiores em comparação ao concreto simples, já que os esforços gerados pela retração hidráulica do concreto são parcialmente absorvidos pela armadura diminuindo assim a fissuração do piso e permitindo a execução de um número menor juntas no pavimento. [9]

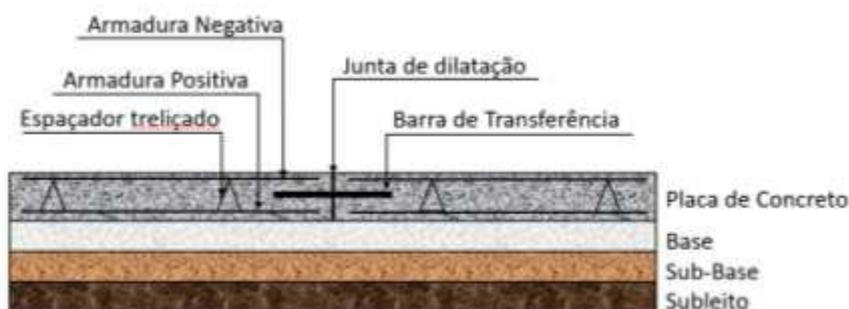


Figura 3: Pavimento de concreto armado
Fonte: BALBO, 2009. [4]

Na atualidade, os pavimentos de concreto simples não são muito utilizados pois perde em custo benefício para o pavimento de concreto armado que também apresenta melhor trabalhabilidade.

2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA PAVIMENTOS

Como os concretos utilizados nos pisos industriais devem atender a algumas características de qualidade e resistência eles são chamados de CAD (concreto de alto desempenho) visto que nos concretos convencionais o que normalmente é esperado é basicamente a resistência a compressão da qual tornou o concreto um material amplamente utilizado, porém o concreto pode ser dosado de maneira adequada para cada finalidade com a adequação de outras características desejáveis quanto á sua aplicação. Neste estudo uma característica importante é a permeabilidade ligada à quantidade de canais ativos que liguem a base superior com a inferior das placas. As características de maior importância para este concreto que será empregado são, a resistência a tração na flexão, resistência a compressão, absorção de água e índice de vazios, sendo o índice de vazios um dos mais importantes devido á condição do pavimento ser permeável. [10]

2.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão é reconhecida como umas das características mais importante do concreto. A relação água/cimento tem impacto direto na resistência a compressão e na Figura 4: Relação A/C X Resistencia do cimento, pode ser analisado que para uma mesma relação água/cimento, mesmo com diversas resistências de cimentos foram apresentadas curvas de Abrans exatamente paralelas, o que demonstra a influência da relação água/cimento frente às diferentes resistências de cimento utilizadas, para qual os agregados devem apresentar as mesmas características dentro da matriz do concreto. [7]

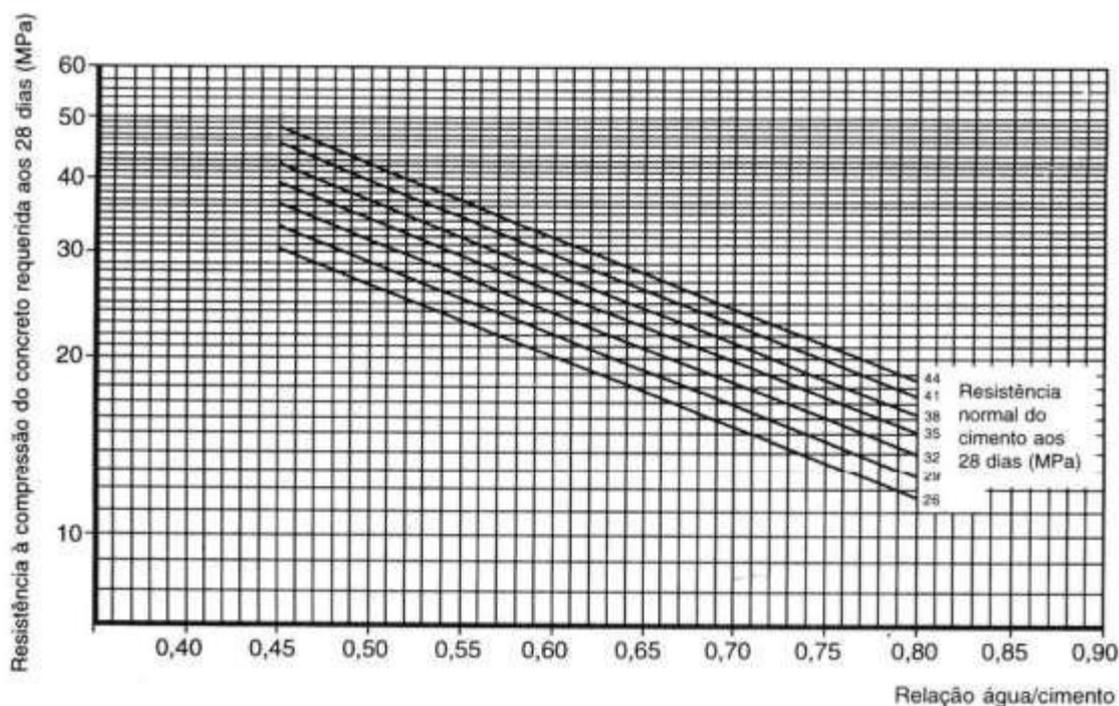


Figura 4: Relação A/C X Resistencia do cimento
 Fonte: RODRIGUES, 2010. [7]

2.5. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

A determinação da resistência à tração na flexão devido a ser um esforço é comum para pavimentos sejam eles permeáveis ou não.

A avaliação de um concreto utilizando-se a resistência à compressão e o seu modulo de ruptura é usado com a finalidade de facilitar o controle em obras onde o requisito fundamental é a tração na flexão. Observa-se que a utilização destas correspondências pode ser tomada como referência para a realização da dosagem do traço do concreto. [7] [7]

Para a relação entre as resistências, que podem ser corretamente empregadas para análise de dosagem, pode-se usar duas equações nas quais oferecem resultados muito próximos (RODRIGUES, 2010) [7], de acordo com as equações de Bucher & Rodrigues, 1983 (Equação 1) e Equação de Packard, 1976 (Equação 2):

$$f_{ct,M} = 0,56 (f_c)^{0,6} \text{ (MPa)} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$f_{ct,M} = 0,76 (f_c)^{0,5} \text{ (MPa)} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde,

$f_{ct,M}$ = Resistência à tração na flexão

f_c = Resistência à compressão

Na tipagem de pisos industriais incluindo assim os pisos permeáveis, essa análise de resistência se faz extremamente importante, já que nos pisos de concreto as estruturas são apoiadas sobre o solo e tem um desempenho comparado a um “colchão”, sendo assim a energia se distribui melhor no pavimento de concreto trazendo a importância da análise da tração na flexão sendo característica efetiva para a capacidade de suporte desse pavimento. [11]

Essa propriedade de resistência à tração na flexão segue a lei de Abrans, porém essa característica também é comprometida por alguns outros fatores, tais como as próprias características dos agregados. A interface pasta e agregado tem interferência importante nos valores na flexão, dessa forma se os agregados apresentam superfícies mais lisas, como seixos rolados, têm resistências inferiores em comparação do que os agregados que foram britados. [7]

Concretos com dosagens de agregados disciformes (com forma de disco) ou mesmo aciculares (forma de agulha) proporcionam resistência inferior à flexão, podendo também haver um aumento no desenvolvimento de brocas no concreto, por inibirem a saída de água emanada, diminuindo-se assim a adesão matriz-agregado. [11]

2.6. RESÍDUO DE COCO

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*) é um membro da família *Arecaceae* que foi trazido pelos portugueses em 1553 e hoje é encontrado em diversas regiões de clima tropical. A espécie é formada por algumas variedades, como, o coqueiro gigante, o coqueiro anão e o coqueiro híbrido. Estes são considerados os de maior importância observando a percepção agrônômica, agroindustrial e socioeconômica, devido à diversidade de produtos e subprodutos fornecidos pelas plantas. O coqueiro gigante é o mais cultivado no mundo, correspondendo cerca de 70% da área plantada, enquanto que, a variedade anã e híbrida é de 20 e 10%, respectivamente. [12]

No Brasil, o coqueiro chamado de anão é o mais comum e cultivado, sendo o fruto a parte da planta mais utilizada (Figura 5).



Figura 5: Estrutura do fruto de *Cocos nucifera* L.
Fonte: EMBRAPA, 2016 [13]

Tomando como partida o fruto, obtêm-se os subprodutos do coco como a água de coco, a polpa e seus derivados, como o leite de coco, coco ralado, farinha de coco, etc. O consumo de água de coco cresceu significativamente por ser reconhecida como um isotônico natural, rico em sais minerais, açúcares, vitaminas e proteínas. Conseqüentemente, o acúmulo de casca (mesocarpo do fruto de *Cocos nucifera* L.) se transformou em um problema de cunho ambiental, pois a perspectiva é que um copo de 250mL de água de coco verde acaba gerando mais de um quilo de resíduo. [12]

A casca de coco que é a fonte de fibra corresponde a aproximadamente 80 a 85% da massa total do fruto, e no Brasil são descartados por ano 800 toneladas desse resíduo. O descarte da casca de coco representa um custo adicional, principalmente, para as indústrias processadoras, devido à grande quantidade de resíduo gerado pelas mesmas. Nos grandes centros urbanos o problema se agrava ainda mais devido a grande dificuldade de descarte, sendo na maioria das vezes enviado para lixões e aterros sanitários, acarretando problemas ambientais e toxicológicos. [13]

O fruto está totalmente envolto numa casca que se apresenta nas cores: verde, amarela, marrom. Sob a casca está a camada de fibras geralmente com 3 a 5 cm de espessura. Esta casca em geral é desmanchada em vários pedaços com uma ferramenta chamada faca de bater. Os pedaços ficam algumas semanas mergulhadas

em água salobra e depois são macerados. As fibras são também batidas e trituradas para após serem separadas. A estimativa é que treze a quinze cocos fornecem aproximadamente um quilograma de fibras.

As fibras de coco possuem algumas propriedades especiais, como: a elasticidade é maior que nas outras fibras vegetais. A capacidade de resistir à umidade e às condições climáticas é muito grande, inclusive em relação à água do mar. A resistência ao desgaste também é excelente em comparação a outras fibras.

A fibra de coco, também chamada de *Coir*, é um material vegetal rico em lignina, celulose e hemiceluloses, levando de oito a dez anos para se decompor no ambiente. Desse modo, o aproveitamento desse resíduo proporciona benefícios econômico, social, agrônômico, ambiental e reduz agentes transmissores de doenças. Atualmente, a fibra de coco tem inúmeras aplicações industriais, onde pode ser empregada na fabricação de tapetes, cordas, material artesanal, estofamento de carros, produção de placas usadas como isolante térmico e acústico, etc. [12] [13]

2.7. PAVIMENTO PERMEÁVEL

2.7.1. Definição

É o pavimento que atende concomitantemente às exigências de esforços mecânicos e também condições de rolamento e cuja estrutura permite condutividade hidráulica também chamada de percolação e/ou o acúmulo provisório de água das precipitações, diminuindo assim o escoamento superficial, sem causar dano a sua estrutura. [15]

Sua utilização é indicada por promover infiltração da água no solo diminuindo o escoamento superficial que por sua vez leva a água das chuvas em sentido vertical alimentando os lençóis freáticos e minimizando a absorção de poluentes e temperatura dessa água. Outro fator importante é a diminuição das enchentes causadas pelo excesso de área impermeável.

2.7.2. Tipos

Os pavimentos de concreto considerados permeáveis podem ser classificados com tipologias distintas, que são:

2.7.2.1. Intertravados

- a) Peças de concreto com juntas alargadas: A percolação ocorre pelas juntas dilatadas conforme Figura 6.

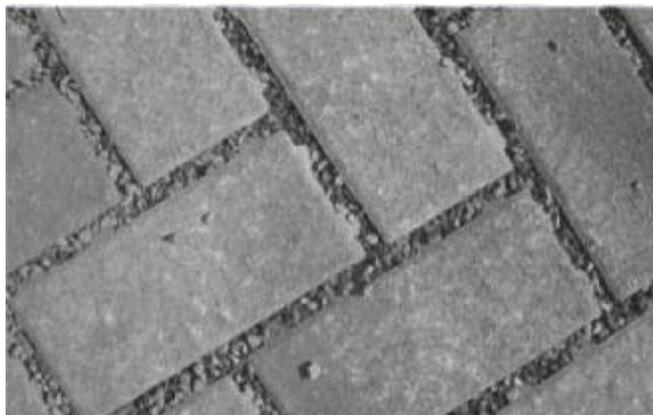


Figura 6: Intertravados - Peças de concreto com juntas alargadas
Fonte: ABNT NBR16416:2015. [15]

- b) Revestimento de peças de concreto com áreas vazadas: A percolação ocorre pelas áreas vazadas das peças de concreto conforme Figura 7.

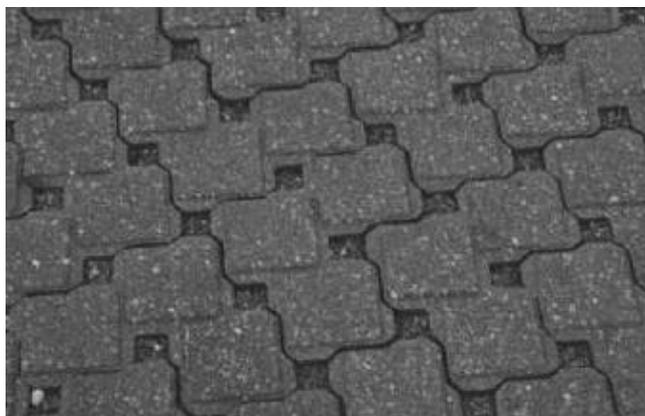


Figura 7: Intertravados - Peças de concreto áreas vazadas
Fonte: ABNT NBR16416:2015. [15]

- c) Revestimento de peças de concreto permeável: A percolação ocorre pelas peças de concreto permeável ilustrado na Figura 8.



Figura 8: Intertravados - Peças de concreto permeável
Fonte: ABNT NBR16416:2015. [15]

2.7.2.2. Revestimento de pavimento de placas de concreto permeável

Não apresenta intertravamento e a percolação que ocorre através do concreto da placa conforme Figura 9.



Figura 9: Placas de concreto permeável
Fonte: ABNT NBR16416:2015. [15]

2.7.2.3. Revestimento de pavimento concreto permeável

Moldado no local em que ocorre a percolação que ocorre através do concreto ilustrado na Figura 10.

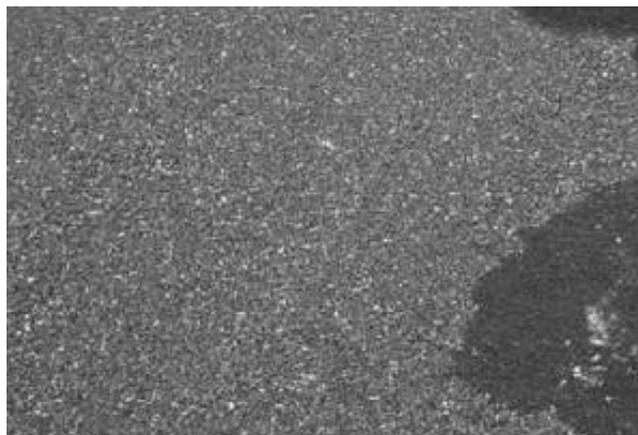


Figura 10: Revestimento de concreto permeável moldado no local
Fonte: ABNT NBR16416:2015. [15]

2.7.3. Considerações

O desempenho dos pavimentos permeáveis depende também das camadas de sub-base e/ou base que devem atender a requisitos mínimos previstos na norma ABNT NBR16416:2015 [15] que aqui não serão amplamente abordados por não se tratar do foco desta pesquisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. FLUXOGRAMA DE TRABALHO

Para melhor organização da sequência de atividades do projeto, foi elaborado e cumprido o fluxo de trabalho (Figura 11):

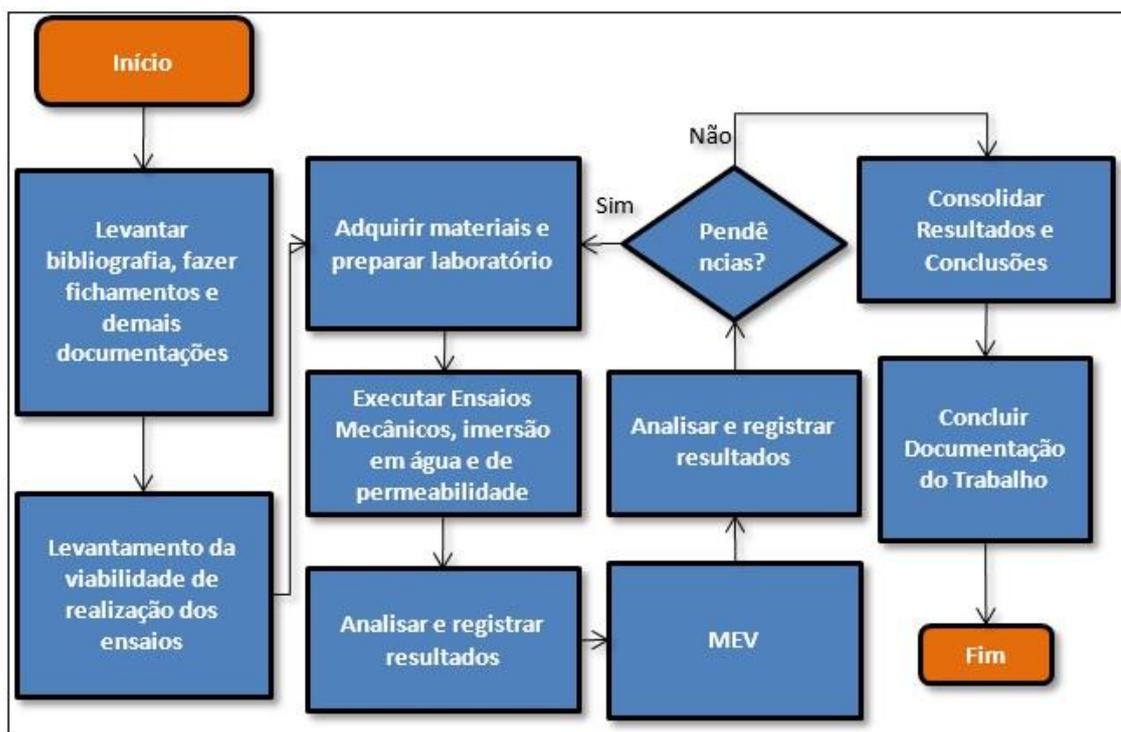


Figura 11: Fluxo de trabalho
Fonte: Autor, 2018.

3.2. MATERIAIS

Em cálculos para engenharia civil são utilizados índices como fatores de segurança obedecendo a ordens estatísticas previstas por normas da ABNT a título de exemplificação às NBR12655/2006 [16] e NBR6118/2007 [17]. Esses dados são utilizados para que as falhas sejam evitadas devido à diversidade interna dos materiais que formam o concreto e também a diversidade de condições de obras civis.

[1]

3.2.1. Fibra de coco

O material de fibra de coco seco é extraído da casca da fruta (mesocarpo do fruto de *Cocos nucifera L.*). Esta casca (fonte de fibra) corresponde cerca de 80 a 85% do peso bruto do fruto, e no Brasil são enviados para lixões cerca de 850 toneladas desse resíduo todos os anos. [12] [13]

O produto da marca VITAPLAN foi obtido no comércio e é processado pela empresa NUTRIPLAN de Cascavel/PR conforme a Figura 12 e Figura 13 apresentados em sua embalagem original e com comparação com um objeto.



Figura 12: Fibra de coco ainda na embalagem da VITAPLAN
Fonte: Site de empresa



Figura 13: Fibra de coco em comparação a um objeto
Fonte: Autor, 2018.

3.2.2. Cimento

Utilizou-se o cimento tipo Portland padrão CPIII-40RS (Figura 14), marca “CSN

Cimentos S.A.". Este é o cimento mais comumente usado em obras civis.



Figura 14: Cimento Portland CPIII - 40 RS
Fonte: Comercial Edifica Materiais para construção

O nome técnico, sigla, classes e porcentagem de componentes estão na Tabela 4 para efeito comparativo.

Tabela 4: Constituintes dos Cimentos Portland

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Filler calcário
Comum	CPI	25, 32, 40	100	-	0	-
Comum com Adição	CPI-S	25, 32, 40	99-95	-	1-5	-
Composto com Escória	CPII-E	25, 32, 40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25, 32, 40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Filler	CPII-F	25, 32, 40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CPIII	25, 32, 40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25, 32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a Sulfatos	RS	25, 32, 40	-	-	-	-
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25, 32, 40	-	-	-	-

Fonte: Fonseca (2010).

3.2.3. Brita

Foi utilizada brita tipo natural, de composição básica de granito, adquirida na Loja Capobiango Materiais de Construção Ltda. (Figura 15). O tamanho da brita foi de nº 0 Ø (2,36mm a 12,5mm).



Figura 15: Brita nº 0
Fonte: Autor, 2018.

3.2.4. Água

Utilizou-se de água tratada e distribuída pela rede pública (SAAE) da cidade de Volta Redonda/RJ. Esta água passou por processos mecânicos e químicos para eliminar a poluição microbiológica e de sedimentos.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Concreto e sua Conformação

Para elaboração dos traços de concreto foi usado um “fator água/cimento” ou “a/c”, que melhor supriu as exigências de ativação das ligações químicas do cimento, porém, sem fazer o “mingau” que é o estado cremoso que poderia impedir que os vazios necessários para um concreto que permita a percolação, pois, segundo Cabral (2007) [18] a porosidade também está relacionada ao montante de água total da massa, que dependendo da quantidade que irá gerar mais poros por evaporação e microfissuras por retração.

A reação da água quando colocada em contato com o cimento é do tipo

exotérmica, consumindo CO₂ ambiente por carbonatação das massas de silicatos e óxidos do cimento, gerando calor de dentro para fora das peças, durante a solidificação. [19]

Neste projeto, além da resistência e durabilidade, típicas de um estudo de concreto, é a permeabilidade. Estes fatores são diretamente influenciados pela mistura dos materiais que são necessários para produzir o concreto. Esta mistura é chamada de “Dosagem” ou “traço”. [20]

O traço também interfere na facilidade de se adaptar às formas e também no “fator Fck” que é a resistência característica. [1]

Para este estudo foi optado por não utilizar de areia para preservar os vazios efetivos e assim a percolação de água para o solo. Sendo assim, a proporção dos traços foi adaptada e testada. A brita escolhida foi a de número “0” com dimensão de 2,36mm à 12,5mm. Essas mudanças foram necessárias para promover os efeitos esperados. O traço foi realizado conforme as especificações na Tabela 5.

Tabela 5: Traço e consumo (litros) para 1m³ de concreto

Traço em volume (adaptado)	Cimento (L)	Água (L)	Brita (L)
Cimento:Água:brita	CPIII	-	Nº 0
1:0,5:2	284	142	574

Fonte: Autor, 2018.

Os materiais foram misturados na betoneira da marca Menegotti com capacidade para 150 litros conforme a Figura 16 e a Figura 17 para melhor associação de todos os materiais utilizando-se as formulações da tabela 6 para confecção dos CP's.



Figura 16: Betoneira Menegotti (a)
Fonte: Autor, 2018.



Figura 17: Betoneira Menegotti (b)
Fonte: Autor, 2018.

Tabela 6: Formulações do traço de concreto (1m³) para moldagem dos CP's

CÓD.	CORPO DE PROVA	Cimento (L)	Água (L)	Brita (L)	Fibra de coco (L)
CP-CONT	CONTROLE	284,0	142,0	574,0	0,0
CP-10	10% de Substituição	284,0	142,0	516,6	57,4
CP-20	20% de Substituição	284,0	142,0	459,2	114,8
CP-30	30% de Substituição	284,0	142,0	401,8	172,2

Fonte: Autor, 2018.

3.3.2. Moldagem dos corpos de prova (CP's)

Os corpos de prova foram elaborados baseados na norma NBR5738, 2003 [21] Foram confeccionados conforme a Tabela 7:

Tabela 7: Confeção dos corpos de prova

Ensaio	Tipo de CP	Dimensões (mm)	Quantidade	Total de CP's
Resistência a compressão / MEV	Cilíndrico	100x200	4 conjuntos de 3 CP's de cada dosagem com 7d, 14d, 21d e 28d de vida.	48
Resistência a flexão	Prismático	400x100x100	4 conjuntos de 5CP's de cada dosagem com 28d de vida.	20
Imersão em água	Prismático	200x200x80	4 conjuntos de 5CP's de cada dosagem com 28d de vida.	20
Determinação do coeficiente de permeabilidade	Prismático	400x400x80	4 conjuntos de 1CP's de cada dosagem com 28d de vida.	04

Fonte: Autor, 2018.

Os CP's cilíndricos foram conformados em fôrmas zincadas e os CP's prismáticos em formas de pinus, conforme Figura 18 e Figura 19.



Figura 18: Formas zincadas para CP's cilíndricos

Fonte: Autor, 2018.



Figura 19: Formas de pinus para CP's prismáticos

Fonte: Autor, 2018.

Após, cada forma foi besuntada com óleo mineral (Figura 20) e após preenchidas de concreto. Foram aplicados 12 golpes com haste de socamento.



Figura 20: Formas sendo besuntadas com óleo mineral
Fonte: Autor, 2018.

Após este processo, os moldes foram colocados sobre uma superfície horizontal e rígida, que fosse livre de vibrações e de qualquer outra ação que pudesse causar perturbação ao concreto. Todos os CP's foram armazenados por 48h em local que esteve protegido de intempéries, onde foram cobertos com material não reativo e também que não fosse absorvente, com a intenção de evitar qualquer perda de água do concreto.

Depois de cumprido esse período inicial de cura, os CP's foram levados à cura em câmara úmida com temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e mantendo a umidade relativa do ar superior a 95 % e livres de gotejamento nem água em movimento. Todos os CP's foram retirados da câmara em sete dias sendo conservados ao ar a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e mantida a umidade relativa de $(50 \pm 15)\%$ até o momento do ensaio conforme NBR 5738/2018 [20] .

3.3.3. Ensaio de resistência à compressão

Foi utilizada a prensa EMIC modelo PC150C, com capacidade máxima de 100 MPa para realização do ensaio de resistência à compressão axial com bases de neoprene nas superfícies de contato da prensa, para assim uniformizar a distribuição de tensões sobre o corpo de prova. Em seguida foi aplicada a carga até o rompimento do CP, conforme NBR 5739/2007 [21] . Este foi o procedimento adotado para todos

os corpos de prova, sendo quatro conjuntos com três corpos de prova cada totalizando 12 CP's rompidos.



Figura 21: Rompimento dos CP's na EMIC PC150C
Fonte: Autor, 2018.

Os resultados do ensaio de compressão são calculados conforme a Equação 3.

$$f_{ck} = \left(\frac{F}{A}\right) \cdot 10 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

f_{ck} = Tensão de ruptura (MPa)

F = Força aplicada (kN)

A = Área de seção (cm²)

Antes de se iniciarem os ensaios, foi fornecida a área de seção do corpo de prova (78,58cm²) e com a força de aplicação para o devido rompimento, a prensa efetua automaticamente os cálculos da tensão de rompimento.

A Figura 22 apresenta um exemplo de cálculo de tensão realizado pelo controlador digital da prensa.

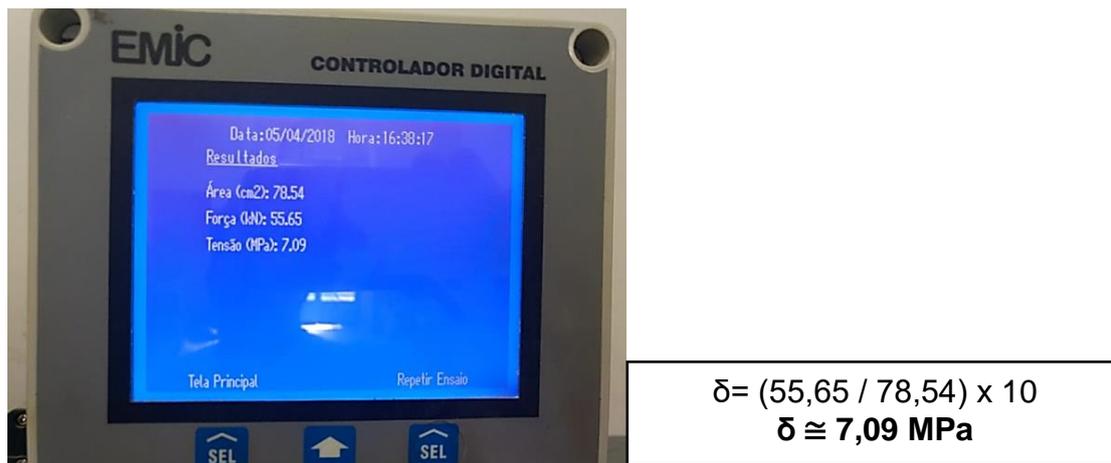


Figura 22: Cálculo de tensão realizado pela EMIC PC150C
Fonte: Autor, 2018.

3.3.4. Ensaio de imersão em água para determinação do índice de vazios e absorção de água

Para determinação do índice de vazios e absorção de água utilizamos como referência a NBR 9778/1987 [22] .

Iniciou-se com a preparação de dois CP's por % de adição de fibra conforme Tabela 6. Em seguida foi iniciado o processo de secagem das amostras em uma estufa da marca ODONTOBRAS e modelo EL-1.5 a uma temperatura de 105°C ± 5°C conforme Figura 23, por um período de 72h, e logo após deu-se a pesagem dos CP's secos em uma balança de precisão da marca WELMY e modelo BCW Tríplice LCD 6/15/30 kg, conforme Figura 24.



Figura 23: Secagem dos CP's em estufa
Fonte: Autor, 2018.

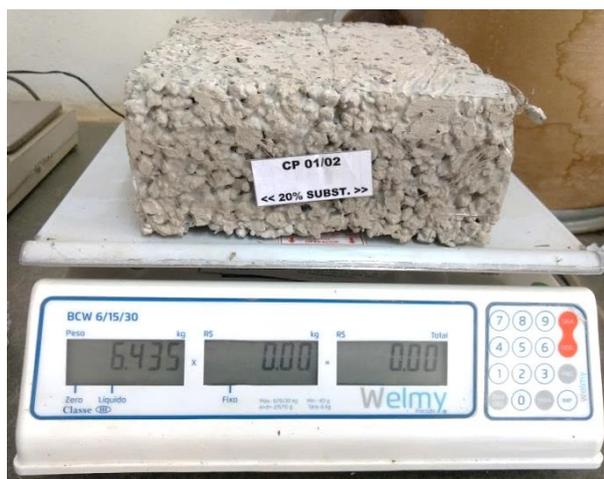


Figura 24: Pesagem dos CP's secos
Fonte: Autor, 2018.

Após a secagem e conforme recomenda a NBR 9778/1987 [22] iniciou-se a saturação dos CP's em tanque de água com temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 72h, sendo as 24 primeiras horas com imersão de 1/3 do volume de cada CP, nas próximas 24 horas com os CP's imersos em 2/3 de seu volume e nas 24h restantes, totalmente imersos. E após esse período foi realizada a pesagem dos CP's ainda em temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ representado na Figura 25 e esquema da pesagem dos CP's ainda imersos, conforme Figura 26.



Figura 25: Pesagem do CP saturado por 72h
Fonte: Autor, 2018.

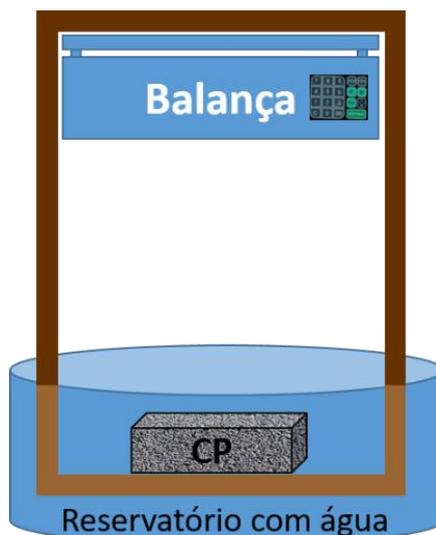


Figura 26: Esquema par pesagem dos CP's imersos em água
Fonte: Autor, 2018.

Dadas todas essas etapas, foram realizados os cálculos para determinação do índice de vazios e absorção de água. Foi utilizada a Equação 4 para determinação da Absorção de água por imersão e a Equação 5 para determinação do Índice de vazios.

$$Aag = \left(\frac{Msat - Ms}{Ms} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 4})$$

$$Iv = \left(\frac{Msat - Ms}{Msat - Mi} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Iv = índice de vazios (%)

Aag = Absorção de água por imersão (%)

Ms = Massa do CP seco em estufa (g)

Mi = Massa do CP, imerso em água (g)

$Msat$ = Massa do CP saturado em água a temperatura de 23°C (g)

3.3.5. MEV

Foi utilizado o MEV para geração de imagens tridimensionais e assim analisar a estrutura superficial dos CP's determinando quais características físicas foram alteradas em sua microestrutura, como preenchimento dos poros, comportamento do ligante (cimento) com a fibra, interface brita x cimento e outros. Neste ensaio foi utilizado o equipamento da marca Hitachi e modelo TM 3000, conforme a Figura 27 e

Figura 28 a análise foi realizada por um detector de elétrons secundários, com uma tensão no tubo de 5kV. Foram colocadas amostras rompidas pelo ensaio de compressão axial na câmara de vácuo do equipamento e assim as imagens foram digitalizadas com ampliações 25X, 100X, 200X, 500X, 1000X e 2000X, para a análise morfológica da superfície.



Figura 27: MEV Hitachi modelo TM 3000
Fonte: Autor, 2018.

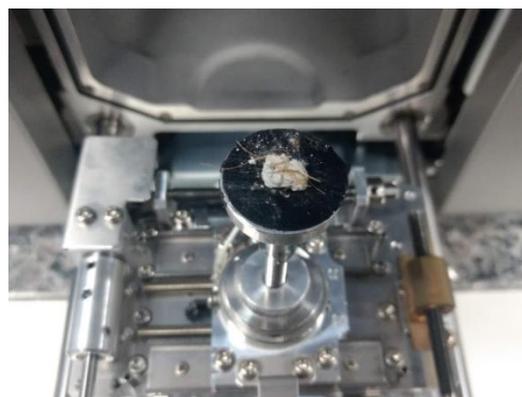


Figura 28: CP Rompido já no MEV
Fonte: Autor, 2018.

3.3.6. Ensaio de resistência à tração na flexão

Os CP's foram confeccionados com formato prismático nas dimensões de $10 \times 35 \text{ cm}^2$ conforme consta nas normas NBR 12142/2010 [23] e NBR 5738/2015 [20] e rompidos na prensa da marca EMIC e modelo T1000, com capacidade máxima de 100 MPa. Todos os CP's foram marcados e montados no equipamento, conforme figuras Figura 29 e Figura 30.

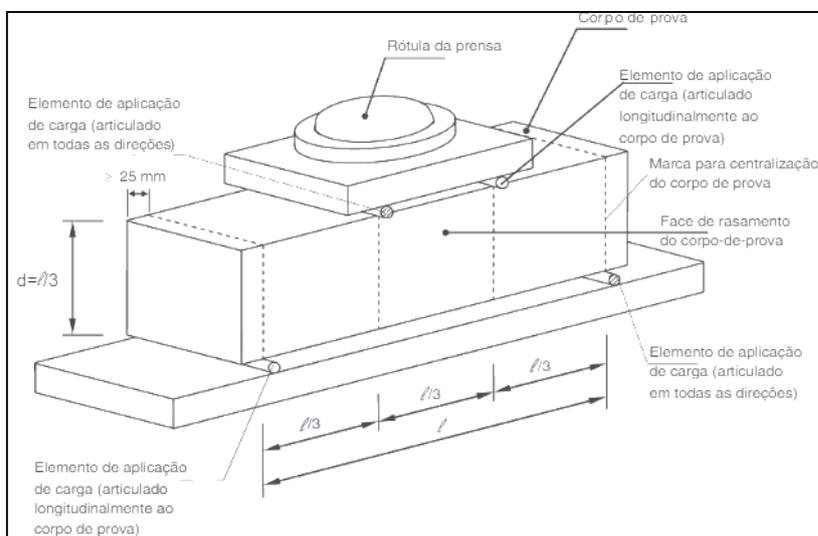


Figura 29: Esquema de marcações nos CP's e montagem na prensa
Fonte: NBR 12142/2010. [23]



Figura 30: CP rompido na prensa após realização do ensaio de tração à flexão
Fonte: Autor, 2018.

A força foi aplicada de maneira continuada e sem choques, de modo que o aumento dessa tensão sobre a amostra fosse de 1,2MPa/min.

Após a ruptura dos corpos eles foram medidos em sua seção de ruptura, para a determinação a largura e a altura médias, com precisão de 1 mm e após foram organizados os dados e aplicados nas equações 6 ou 7 após cada CP ser avaliado com base no esquema da Figura 31.

Quando o rompimento ocorreu no terço médio utilizou-se a Equação 6:

$$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.d^2} \quad \text{(Equação 6)}$$

Em casos onde a ruptura ocorreu fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de l (ver Figura 31) a resistência à tração na flexão foi calculada pela Equação 7:

$$f_{ct,f} = \frac{3.F.a}{b.d^2} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

$f_{ct,f}$ é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);
 F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);
 l é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);
 b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
 d é a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
 a é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros (mm).

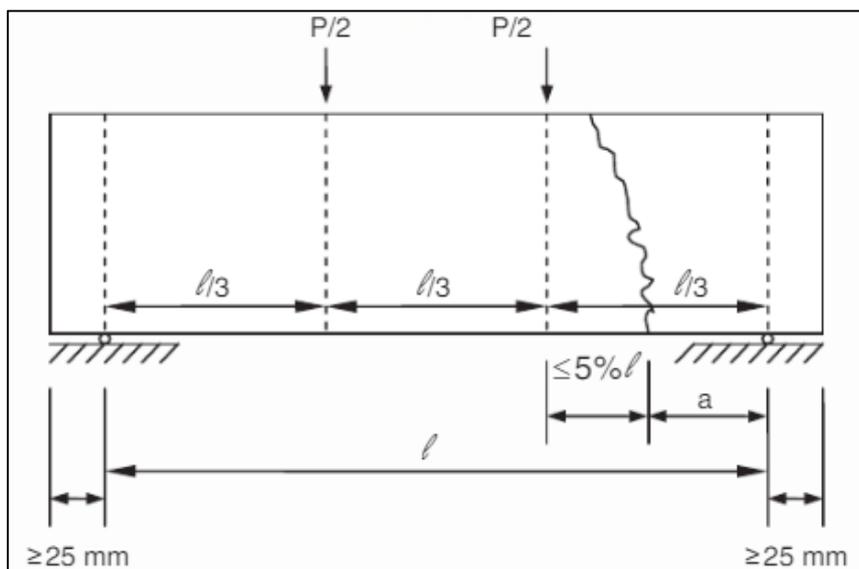


Figura 31: Esquema de ruptura do corpo de prova no ensaio de tração na flexão
Fonte: NBR 12142/2010. [23]

Nos casos em que o rompimento do CP ocorresse além do limite de 5% do terço médio este CP seria descartado, porém, não houve este caso.

3.3.7. Ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade

Os CP's foram limpos de modo a não ter sedimentos e outros materiais aderidos à placa de piso, logo após, o anel de infiltração foi posicionado em contato com o CP e vedado com massa de calafetar nesta área de contato, para não permitir vazamentos laterais. A Figura 32 e Figura 33 ilustram a forma de montagem para o ensaio.



Figura 32: Montagem do ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade (a)
Fonte: Autor, 2018.



Figura 33: Montagem do ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade (b)
Fonte: Autor, 2018.

O ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade foi realizado conforme os passos a seguir seguindo a NBR 16416/2015 [15].

- 1) Realizou-se a pré-molhagem da placa e iniciou-se o ensaio após 30 segundos ou menos;
- 2) A massa de água de 18kg começou a ser despejada no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível de água entre as marcas internas de 10mm e 15mm conforme Figura 34;



Figura 34: Determinação do coeficiente de permeabilidade
Fonte: Autor, 2018.

- 3) Marcou-se o intervalo de tempo em cronômetro assim que a água atingiu a superfície do CP e encerrou-se até não haver mais água livre na superfície do mesmo. O tempo foi registrado com exatidão de 0,1s.
- 4) O ensaio foi repetido por mais duas vezes no intervalo de 5 minutos o que eliminou a necessidade da pré-molhagem para o segundo e terceiro testes.

O coeficiente de permeabilidade foi calculado utilizando-se a Equação 8.

$$k = \frac{C.m}{(d^2.t)} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

k é o coeficiente de permeabilidade expresso em milímetros por hora (mm/h);

m é a massa de água infiltrada expressa em quilogramas (kg);

d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm);

t é o tempo necessário para a água percolar expresso em segundos (s);

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Os testes foram realizados com 7, 14, 21 e 28 dias após a conformação dos corpos de prova e com três CP's de cada dosagem sempre em comparação ao material sem a adição da fibra de coco.

Observaram-se desvios-padrões relativamente altos. Este fato pode estar relacionado com o grande número de vazios que são inerentes do concreto drenante e também a não homogeneidade total do traço devido ao acréscimo da fibra ser um fator dificultante para trabalhabilidade do concreto, sendo assim não existe um método adequado efetuar a determinação desta propriedade do concreto no estado fresco. Conforme esteja a consistência desse concreto a trabalhabilidade por dese melhorada pois ela promove a plasticidade do concreto. [24]

4.1.1. Resultados com 7 dias de vida

Ao se analisar a Tabela 8 que apresenta os resultados de resistência à compressão axial realizado com 7 dias de vida observou-se melhora na tensão média após a substituição pela fibra. O maior aumento foi de aproximadamente 26% nas amostras com 10% de substituição, demonstrando que matrizes que se apresentam frágeis sendo reforçadas com fibras que possuem módulo de elasticidade baixo, onde o arrancamento da fibra prepondera sobre a ruptura, observa-se a aderência fibra-matriz como fator preponderante de influência na tenacidade. [25]

Tabela 8: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 7 dias

Resultados do teste de compressão axial – 07 dias										
	CP1			CP2			CP3			Média
	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Controle	78,50	44,90	5,72	78,50	46,47	5,92	78,50	47,02	5,99	5,88 ± 0,11
10%	78,50	62,02	7,90	78,50	62,49	7,96	78,50	62,25	7,93	7,93 ± 0,02
20%	78,50	52,67	6,71	78,50	56,52	7,20	78,50	60,45	7,70	7,20 ± 0,40
30%	78,50	63,82	8,13	78,50	50,55	6,44	78,50	54,71	6,97	7,18 ± 0,71

Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 35 fica claro o aumento da tensão média após a inserção da fibra. Destacam-se as amostras de 10%, porém as demais também tiveram reforço nessa propriedade em relação as amostras de controle. Os resultados ficam assim dispostos com relação à compressão axial 30%<20%<Controle<10%.

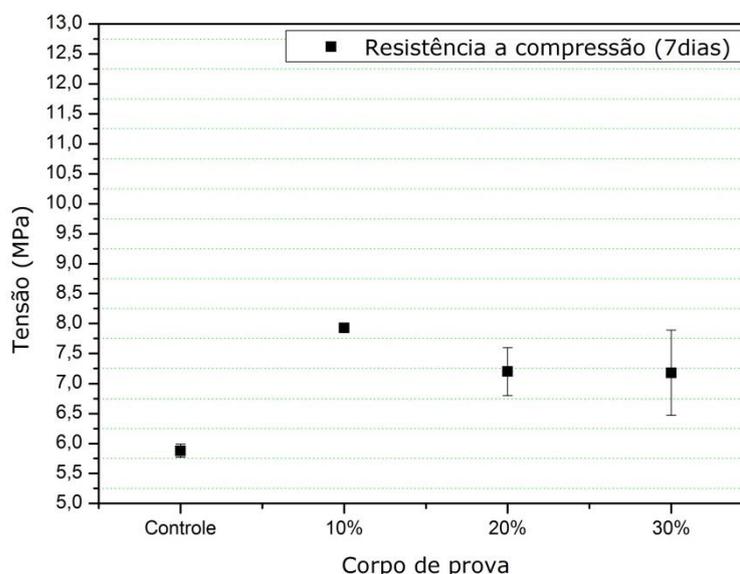


Figura 35: Resultados do teste de compressão axial – 7 dias
Fonte: Autor, 2018.

4.1.2. Resultados com 14 dias de vida

A tabela 9 que contempla os resultados das amostras com 14 dias de vida mostra que após esse período nas amostras de 20% e 30% a fibra não atuam como reforço e torna a proporção de fibra inversamente proporcional à tensão média apurada. Já nas amostras de 10% os resultados mostram as fibras atuantes como reforço do compósito.

Tabela 9: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 14 dias

Resultados do teste de compressão axial – 14 dias										
	CP1			CP2			CP3			Média
	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Controle	78,50	71,44	9,10	78,50	68,06	8,67	78,50	70,65	9,00	8,92 ± 0,18
10%	78,50	66,33	8,45	78,50	74,89	9,54	78,50	76,93	9,80	9,26 ± 0,58
20%	78,50	46,63	5,94	78,50	56,21	7,16	78,50	58,80	7,49	6,86 ± 0,67
30%	78,50	60,52	7,71	78,50	40,90	5,21	78,50	46,08	5,87	6,26 ± 1,06

Fonte: Autor, 2018.

O reforço nas amostras de 10% ficou na casa dos 3,8%, porém, dentro do desvio padrão em comparação com os CP's de controle.

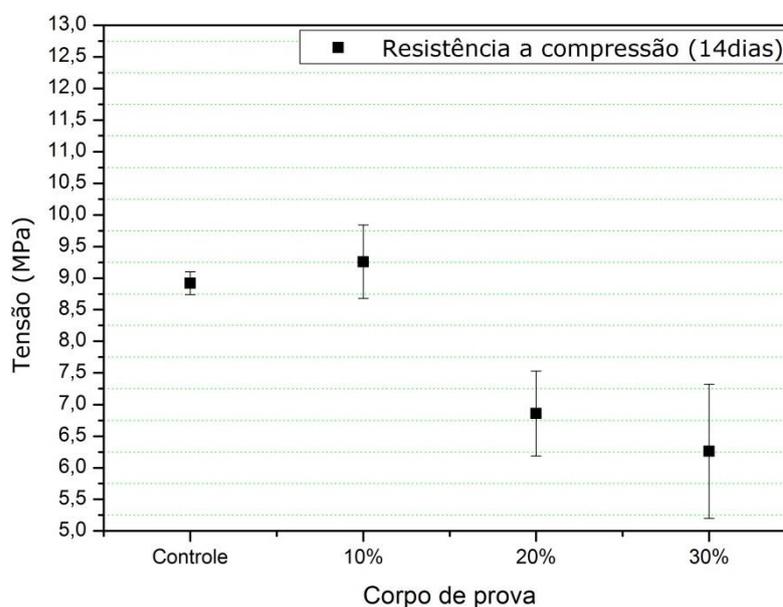


Figura 36: Resultados do teste de compressão axial – 14 dias
Fonte: Autor, 2018.

4.1.3. Resultados com 21 dias de vida

Os resultados aos 21 dias se assentam com destaque nas amostras de 30% que perderam cerca de 43% da resistência a compressão axial, porém as amostras de 10% ainda apresentam leve melhora nos resultados estando ainda dentro do desvio padrão não deixando assim um real aumento de resistência, diferentemente das amostras de 20% e 30% que notoriamente perderam propriedades.

Esses resultados em comparação ao índice de vazios se relacionam de maneira diretamente proporcional, em destaque aos CP's de 10% que apesar de uma maior quantidade de vazos comunicantes as fibras demonstraram melhorar ou pelo menos manter a resistência a compressão axial que deveria ser enfraquecida pelo aumento de vazios. Neste caso constatou-se que a fibra age ao menos como uma compensação desses resultados.

Tabela 10: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 21 dias

Resultados do teste de compressão axial – 21 dias										
	CP1			CP2			CP3			Média
	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Controle	78,50	92,87	11,83	78,50	79,29	10,10	78,50	90,28	11,50	11,14 ± 0,75
10%	78,50	100,24	12,77	78,50	93,57	11,92	78,50	79,76	10,16	11,62 ± 1,09
20%	78,50	61,62	7,85	78,50	64,37	8,20	78,50	63,59	8,10	8,05 ± 0,15
30%	78,50	60,45	7,70	78,50	40,98	5,22	78,50	47,10	6,00	6,31 ± 1,04

Fonte: Autor, 2018.

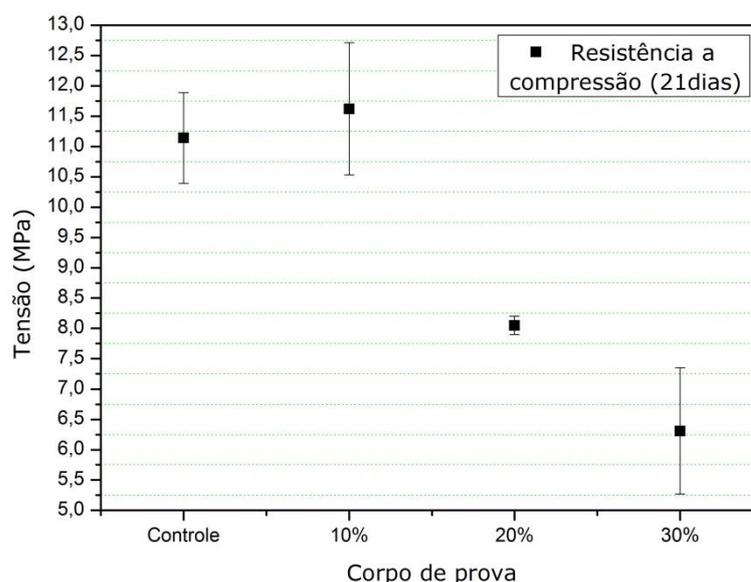


Figura 37: Resultados do teste de compressão axial – 21 dias

Fonte: Autor, 2018.

4.1.4. Resultados com 28 dias de vida

Goede (2009) [26] obteve valores aproximados de 11,5 MPa para os CP's com índice de vazios com valores próximos de 27%, valor muito próximo ao que se obteve nos CP's de Controle e 10% (Tabela 11). Observou-se também que, os CP's com 10% de substituição tiveram melhora da resistência a compressão axial de aproximadamente 2,1% em relação aos de controle, o que não pôde ser comprovado devido ao empate dentro do desvio padrão (Figura 38).

Segundo a norma ACI 522R-10 [27], a resistência à compressão simples para concreto permeável deve variar entre 2,8 e 28MPa, o valor médio em todos os testes

realizados foram compatíveis com esses parâmetros e poderiam ser melhorados com a adição de areia ao adensamento mecânico empregado.

Tabela 11: Resultados do ensaio de resistência a compressão axial – 28 dias

Resultados do teste de compressão axial – 28 dias										
	CP1			CP2			CP3			Média
	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Área (cm ²)	Força (kN)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Controle	78,50	95,77	12,20	78,50	94,28	12,01	78,50	95,77	12,20	12,14 ± 0,09
10%	78,50	98,13	12,50	78,50	98,91	12,60	78,50	94,99	12,10	12,40 ± 0,22
20%	78,50	63,59	8,10	78,50	64,37	8,20	78,50	72,22	9,20	8,50 ± 0,50
30%	78,50	61,23	7,80	78,50	42,00	5,35	78,50	51,03	6,50	6,55 ± 1,00

Fonte: Autor, 2018.

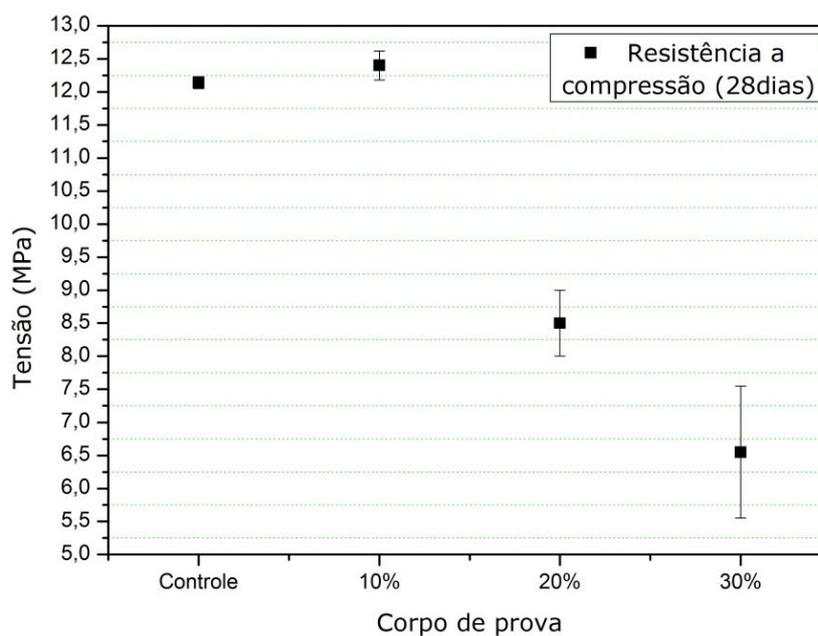


Figura 38: Resultados do teste de compressão axial – 28 dias

Fonte: Autor, 2018.

As curvas de comparação dos resultados da Resistência a compressão Axial em relação ao tempo de vida das amostras podem ser visualizadas na Figura 39.

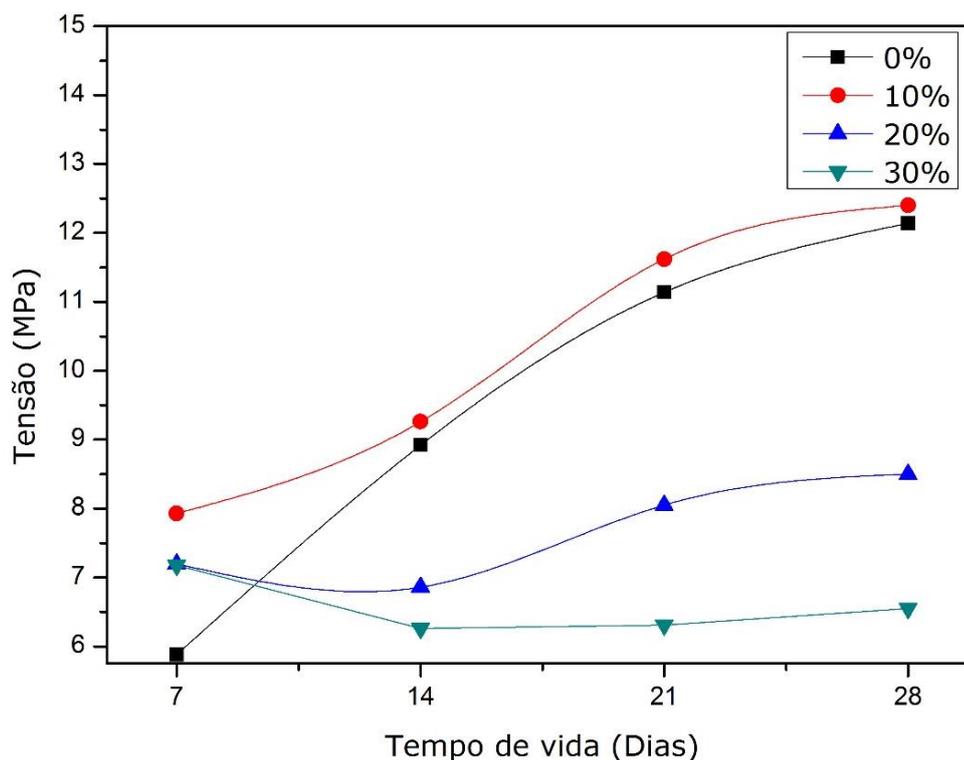


Figura 39: Comparação dos resultados da Resistência a compressão Axial em relação ao tempo de vida
Fonte: Autor, 2018.

4.2. ENSAIO DE IMERSÃO

4.2.1. Absorção de água por imersão

A tabela 12 traz os resultados encontrados no ensaio de absorção de água por imersão, onde verificou-se que em todos os CP's analisados foram encontrados resultados dentro do limite pré-estabelecido por Neville (1997) [28], onde ficou estabelecido que as análises de absorção de água não podem ser caracterizadas como uma medida a fim de determinar qualidade do concreto, porém, este autor narra que concretos tidos como de boa qualidade apresentam resultados de absorção inferiores a 10%, índice esse acima de todos os que aqui foram encontrados.

Tabela 12: Resultados da absorção de água por imersão

CORPO DE PROVA PRISMÁTICO				28 DIAS	
CORPO DE PROVA		Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de água (%)	Absorção média de água (%)
CONTROLE	1	5,892	6,215	6,29	6,17 ± 0,12
	2	5,414	5,742	6,06	
10% de Substituição	1	5,852	6,220	6,29	6,42 ± 0,13
	2	5,800	6,180	6,55	
20% de Substituição	1	6,435	6,755	4,97	5,33 ± 0,36
	2	6,320	6,680	5,70	
30% de Substituição	1	5,800	6,160	6,21	5,92 ± 0,29
	2	5,926	6,260	5,64	

Fonte: Autor, 2018.

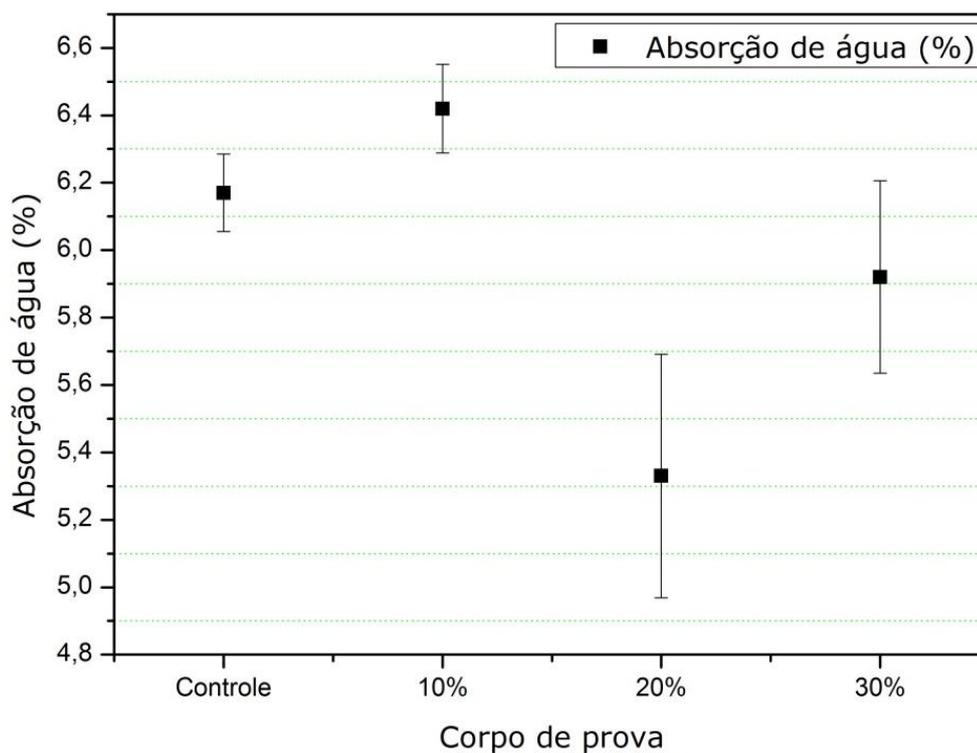


Figura 40: Resultados da absorção de água por imersão

Fonte: Autor, 2018.

4.2.2. Determinação do índice de vazios

A Tabela 13 é a que organiza todos os dados cobtidos com o ensaio de imersão para obtenção do índice de vazios. Essa determinação fez-se de extrema relevância para este estudo visto que, esperou-se encontrar resultados de resistência que permitisse a utilização dessas placas de concreto como composição de um pavimento permeável.

Tabela 13: Resultados da determinação do índice de vazios

CORPO DE PROVA PRISMÁTICO					28 DIAS	
CORPO DE PROVA		Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Massa imersa (g)	Índice de vazios (%)	Índice de vazios médio (%)
CONTROLE	1	5,892	6,215	3,410	11,515	12,036 ± 0,52
	2	5,414	5,742	3,130	12,557	
10% de Substituição	1	5,852	6,220	3,388	12,994	13,235 ± 0,24
	2	5,800	6,180	3,360	13,475	
20% de Substituição	1	6,435	6,755	3,728	10,572	11,242 ± 0,67
	2	6,320	6,680	3,658	11,913	
30% de Substituição	1	5,800	6,160	3,306	12,614	12,12 ± 0,50
	2	5,926	6,260	3,386	11,621	

Fonte: Autor, 2018.

Tennis et al. (2004) [29] em seu estudo aponta que índices de vazios na ordem de 20% garantem boas características quanto a resistência e também permeabilidade.

O concreto tido como permeável é considerado um compósito com baixa porosidade quando apresentarem índices de vazios abaixo de 15%, e com porosidade elevada se esses índices forem superiores a 30%.[30] . Os CP's que foram analisados são considerados com baixa porosidade, o que pode demonstrar que, apesar da presença da fibra ser um fator que prejudique a amalgamação do concreto para obter uma mistura homogênea, houve um bom adensamento. Quanto maior o tempo de vibração no adensamento menor será o índice de vazio. Como foram mantidas as quantidades de golpes para conformação dos CP's, observou-se que esse índice pouco se alterou com a substituição pela fibra. Estando os valores quase totalmente empatados dentro do desvio padrão e com valores próximos aos obtidos por Tennis et al. (2004) [29] sendo ilustrado de melhor maneira na Figura 41.

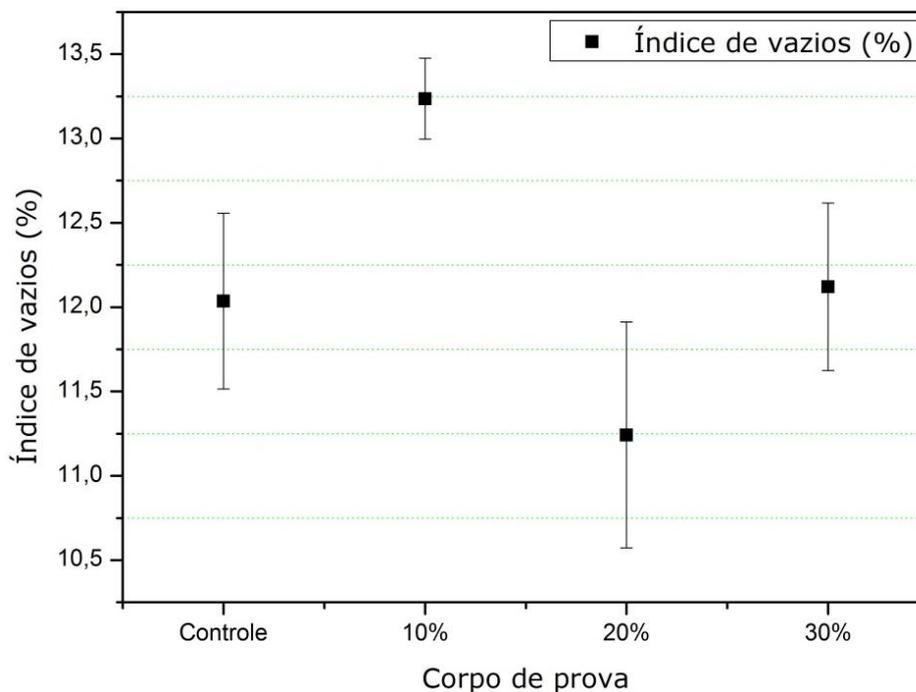


Figura 41: Resultados da determinação do índice de vazios
Fonte: Autor, 2018.

4.3. MEV

O compósito é constituído por conglomerados miúdos e grãos, associados quimicamente por ação do cimento em coagulação com a água. [31]

Notou-se nas imagens obtidas no MEV para todos os CP's, a presença dos materiais que foram utilizados na produção do compósito, grãos de brita, mica, micro trincas e vazios, espalhados no concreto, e também porosidade. As imagens aqui escolhidas são das amostras recolhidas após o rompimento no ensaio de compressão axial, sendo elas, a morfologia geral do produto em locais pontuais.

Com as imagens ampliadas, os materiais apresentam-se menos detectáveis fazendo-se necessária a inserção de setas, marcações e etiquetas, para melhor identificação. A má distinção das fronteiras separatórias entre os materiais indicou propriedades essenciais da morfologia e químicas parecidas. Este fato apresentou grande relevância, pois, segundo a literatura pertinente a Ciência dos Materiais, compósitos que são formados por materiais de características morfológicas e químicas afins, apresentam notória tendência a terem uma ligação mecânica mais homogênea, melhorando assim o papel final da peça formada. [32]

Os resultados que foram obtidos do MEV são apresentados na **Figura 42** até a **Figura 49**. Foram realizadas aproximações de 25X à 2000X afim de buscar imagens adequadas às análises desejáveis por este estudo.

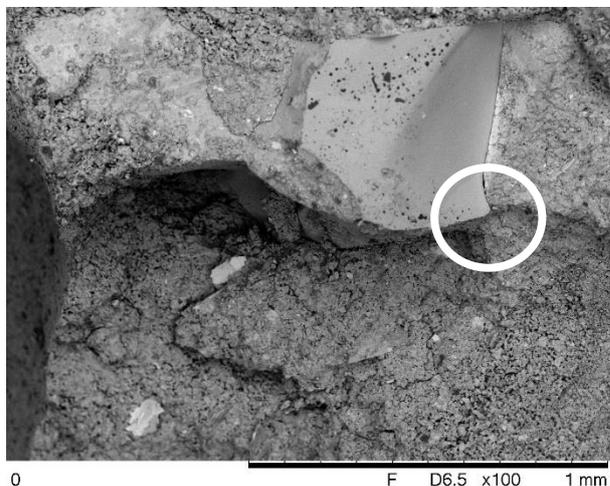


Figura 42: Imagem estrutural 100x (controle)

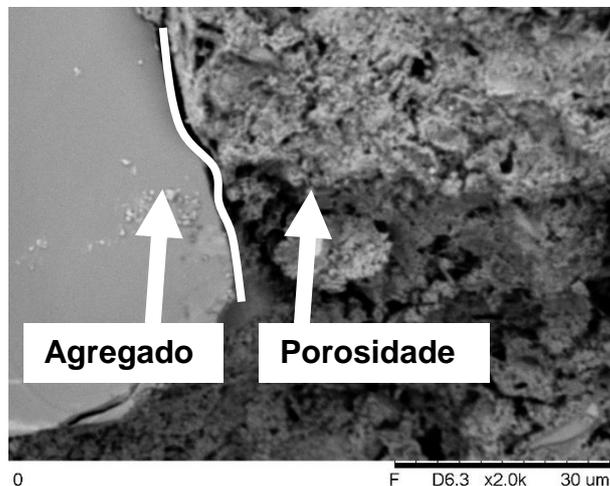


Figura 43: Imagem estrutural 2000x (controle)

Na **Figura 42** e **Figura 43**, com ampliações de 100x e 2000 vezes, pôde ser observada uma provável zona de transição existente entre o agregado e a pasta do concreto.

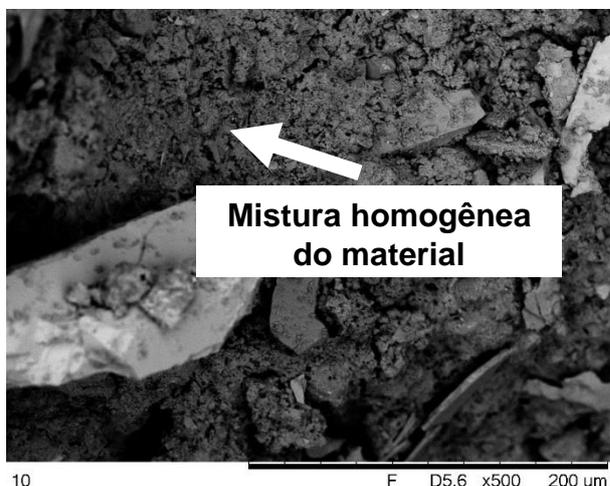


Figura 44: Imagem estrutural 500x (10%)



Figura 45: Imagem estrutural 1000x (10%)

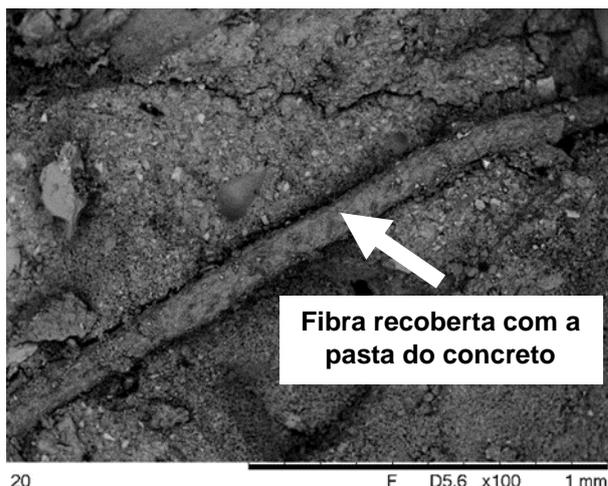


Figura 46: Imagem estrutural 100x (20%)

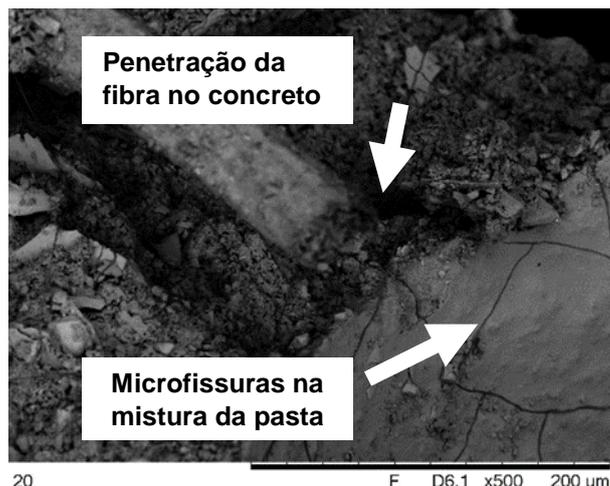


Figura 47: Imagem estrutural 500x (20%)

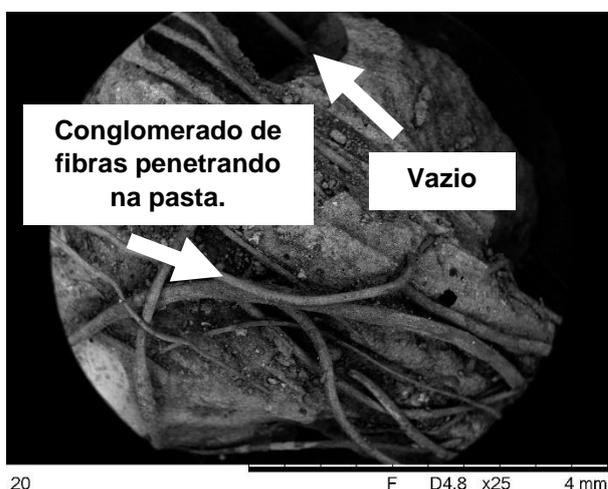


Figura 48: Imagem estrutural 25x (30%)

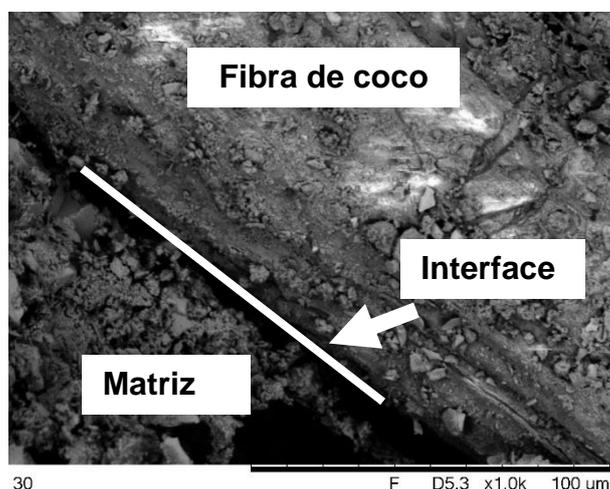


Figura 49: Imagem estrutural 1000x (30%)

Foi observado que nas amostras com substituição pela fibra de coco, houve a apresentação de vazios, o que reduziu algumas propriedades desses materiais, tal como, resistência à compressão, com excessão às amostras de 10% que tiveram resultados muito próximos ao controle, porém, como tiveram praticamente um empate dentro do desvio padrão este resultado se diferenciou ligeiramente dos obtidos por Souza et al (2014) [24] e Santos (2005) [33] . Ao se relacionar esses resultados com os do ensaio de absorção de água e também o de índice de vazio, notou-se que nas amostras de 10% de adição de borracha apresentou, possivelmente, melhor união da matriz com o agregado.

4.4. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os valores encontrados para resistência a tração na flexão são apresentados na Tabela 14 bem como o terço de ruptura que é fator preponderante nos cálculos da tensão média.

Tabela 14: Resultados da resistência à tração na flexão

CORPO DE PROVA PRISMÁTICO				IDADE:		28 DIAS	
CORPO DE PROVA	Ruptura (KN)	Largura méd. b (mm)	Largura méd. d (mm)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Tensão méd. (MPa)	
CONTROLE	1	7,20	103	99	Meio	2,14	
	2	7,20	102	103	Lado - 96mm	1,92	
	3	7,47	104	98	Meio	2,24	2,06 ± 0,12
	4	7,23	100	104	Meio	2,01	
	5	7,20	109	100	Meio	1,98	
1	7,66	103	100	Meio	2,23		
2	8,24	102	103	Meio	2,28		
10% de Substituição	3	9,11	104	106	Meio	2,34	2,29 ± 0,04
	4	8,34	100	104	Meio	2,31	
	5	8,90	109	101	Lado - 95mm	2,28	
	1	7,10	103	102	Meio	1,99	
	2	7,32	102	103	Meio	2,03	
20% de Substituição	3	7,02	104	102	Meio	1,95	1,98 ± 0,07
	4	6,92	100	100	Meio	2,08	
	5	7,25	101	107	Meio	1,88	
	1	7,35	103	104	Lado - 98mm	1,94	
	2	7,80	102	103	Meio	2,16	
30% de Substituição	3	7,36	104	106	Meio	1,89	1,96 ± 0,14
	4	7,45	100	104	Meio	2,07	
	5	7,30	109	107	Meio	1,75	

Fonte: Autor, 2018.

Os resultados para resistência a tração na flexão foram considerados inferiores ao que se esperava, uma vez que outros estudos como Gonçalves (2002) [10] [10] obtiveram valores próximos a 4MPa.

Foi observada melhora nessa propriedade do material nas amostras de 10% pois alcançaram valor cerca de 11% superior ao controle. Já nas demais misturas os

valores foram inferiores ao controle e também das amostras de 10% melhor ilustrado na Figura 50.

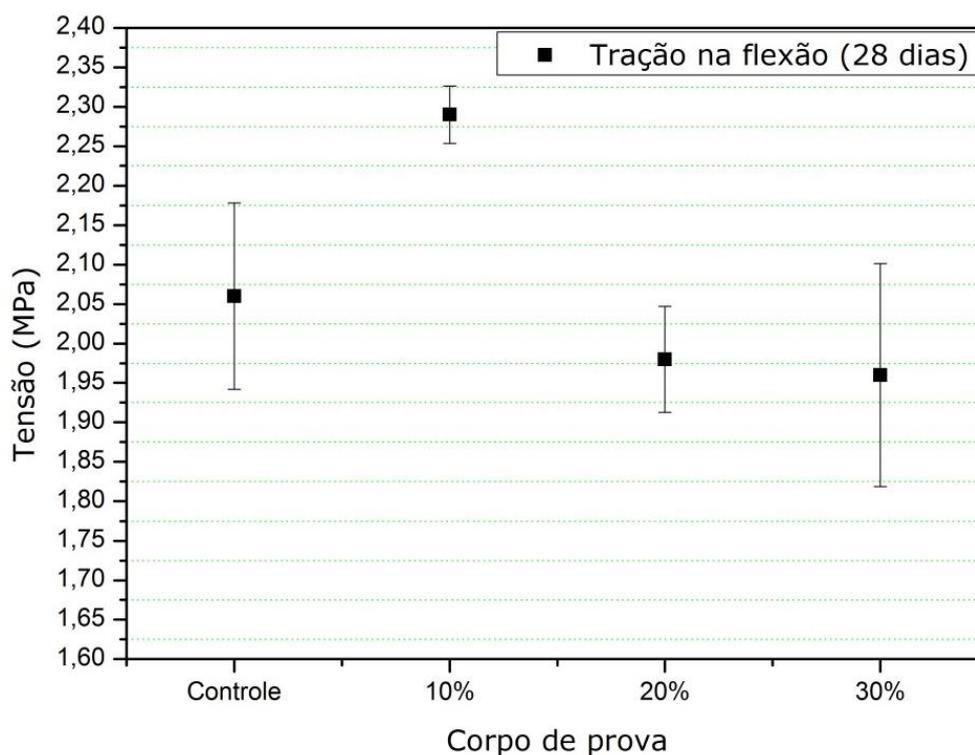


Figura 50: Resultados Tração na flexão (28 dias)
Fonte: Autor, 2018.

Neste teste os resultados para os CP's de Controle e 10% ficaram superiores ao estabelecido pela NBR 16416/2015 [15] já os CP's com dosagens de 20% e 30% apresentaram resultados inferiores ao valor da norma, porém, como os CP's: 20%/2, 20%/4, 30%/2 e 30%/4 tiveram resultados maiores que 2MPa houve um desvio padrão que pode levar essas dosagens para dentro da norma conforme comparação e leitura da Figura 51.

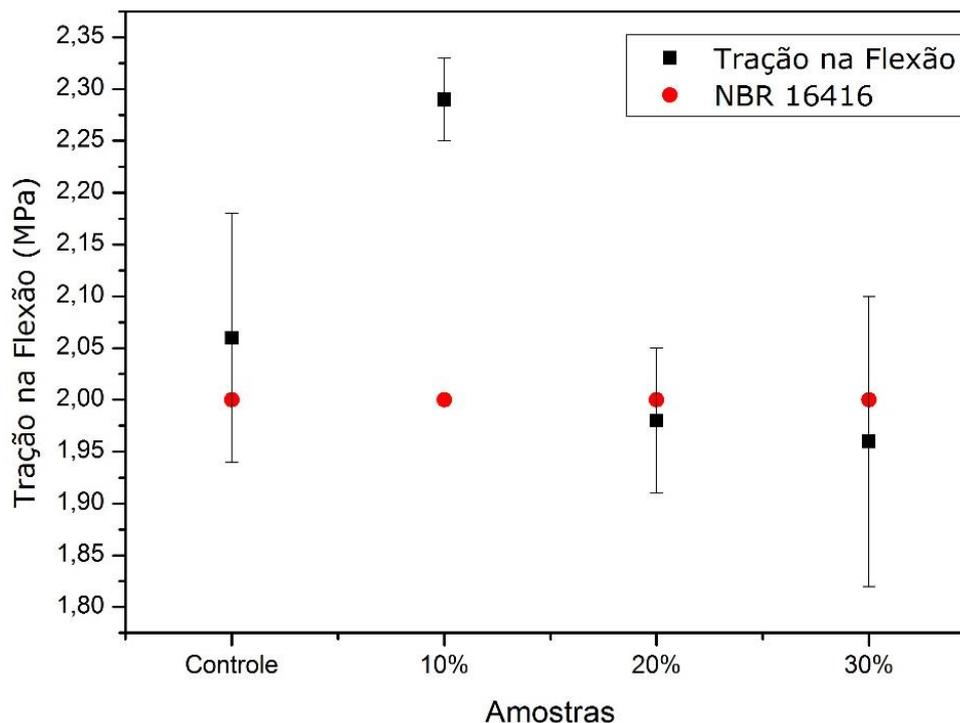


Figura 51: Comparação dos resultados de tração na flexão com a norma NBR 16416/2015. [15]
Fonte: Autor, 2018.

Isso demonstrou mais uma vez que as amostras com 10% de substituição pela fibra de coco tiveram bom desempenho tanto na resistência como na condutividade hidráulica. Essa análise foi feita com base na comparação aos demais resultados obtidos em outros teste apresentados por este estudo.

4.5. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Os valores organizados na Tabela 15 foram obtidos no ensaio para o coeficiente de permeabilidade conhecido também como condutividade hidráulica de concretos reconhecidos como permeáveis criados para revestimento de pavimentos ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos que variam entre 7560mm/h e 19440mm/h (TENNIS *et al.*, 2004) [29] e Bean *et al.* (2007) [34] que obtiveram valores de condutividade hidráulica em campo variando de 0,07cm/s (2520mm/h) a 0,77cm/s (272720mm/h).

Tabela 15: Resultados da determinação do coeficiente de permeabilidade

CORPO DE PROVA PRISMÁTICO				28 DIAS		
CORPO DE PROVA		Massa de água filtrada (Kg)	Diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm)	Tempo necessário para a água percolar (s)	Coeficiente de permeabilidade (mm/h)	Coeficiente de permeabilidade médio (mm/h)
CONTROLE	1	18	290	66	14864,34	15095,40 ± 189,64
	2	18	290	65	15093,02	
	3	18	290	64	15328,85	
10 % de Substituição	1	18	290	63	15572,16	15826,07 ± 208,45
	2	18	290	62	15823,33	
	3	18	290	61	16082,73	
20 % de Substituição	1	18	290	67	14642,48	14720,88 ± 277,44
	2	18	290	68	14427,15	
	3	18	290	65	15093,02	
30 % de Substituição	1	18	290	67	14642,48	14498,93 ± 101,51
	2	18	290	68	14427,15	
	3	18	290	68	14427,15	

Fonte: Autor, 2018.

Os resultados obtidos nas amostras com 10% apresentaram valores cerca de 5% melhores em condutividade hidráulica em relação ao controle, mostrando que a fibra além de proporcionar maior resistência mecânica também amplia a capacidade de percolação para os solos das precipitações se tornando uma adição viável e eficaz. As demais dosagens analisadas também se enquadram na faixa proposta e se mostraram superiores aos valores encontrados em outros estudos. Batezini (2013) [30] alcançou valores do coeficiente entre 0,13 e 0,15 cm/s (4680 e 5400 mm/h) e Kajio et al. entre 0,03 e 0,18cm/s (1080 e 6480 mm/h).

Os resultados ficam melhor evidenciados na Figura 52 e seguem a ordem de grandeza 30% < 20% < Controle < 10%.

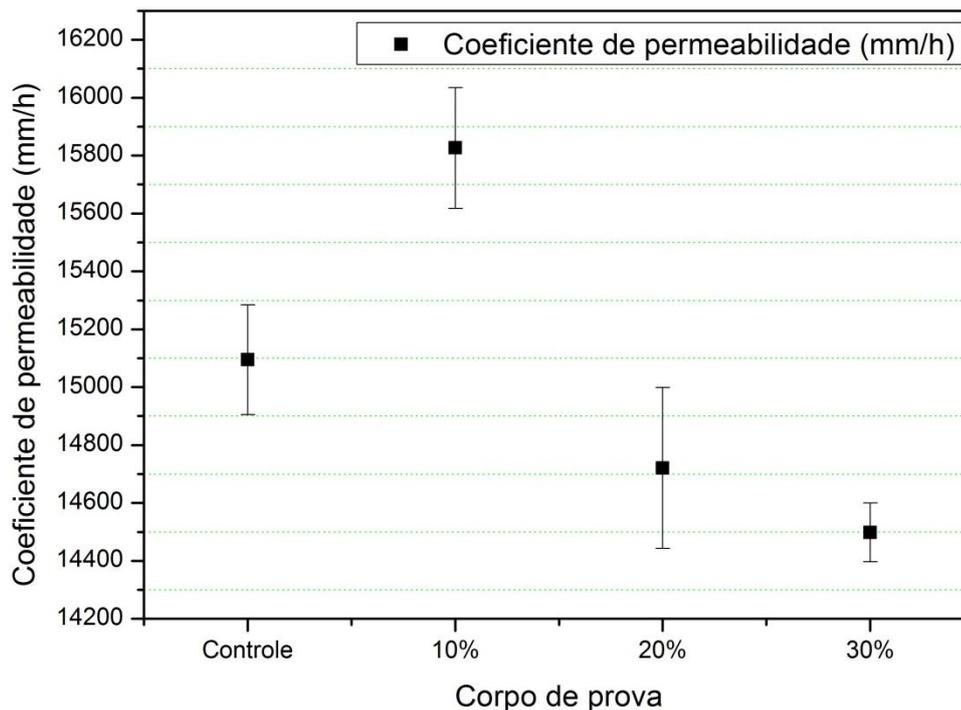


Figura 52: Resultados Coeficiente de Permeabilidade (28 dias)
Fonte: Autor, 2018.

Todas as amostras analisadas atendem ao que estipula a norma 16416/2015 [15] conforme Figura 53, estando os resultados das amostras aproximadamente 400% acima do que é estabelecido.

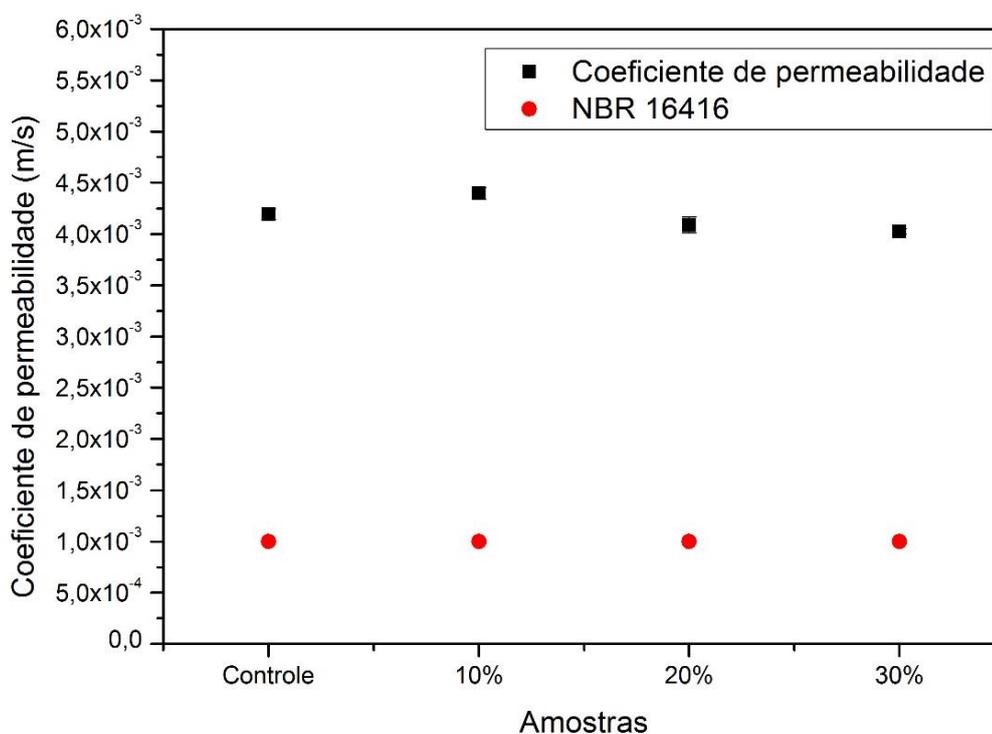


Figura 53: Comparação dos resultados da Permeabilidade com a NBR 16416 [15]
Fonte: Autor, 2018.

4.6. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES DEMONSTRADAS NOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Para efeito comparativo das propriedades demonstradas nos ensaios foi elaborado o gráfico da Figura 54 ranqueando da 1ª a 4ª posição de acordo com o que se esperavam de características do material para este trabalho.

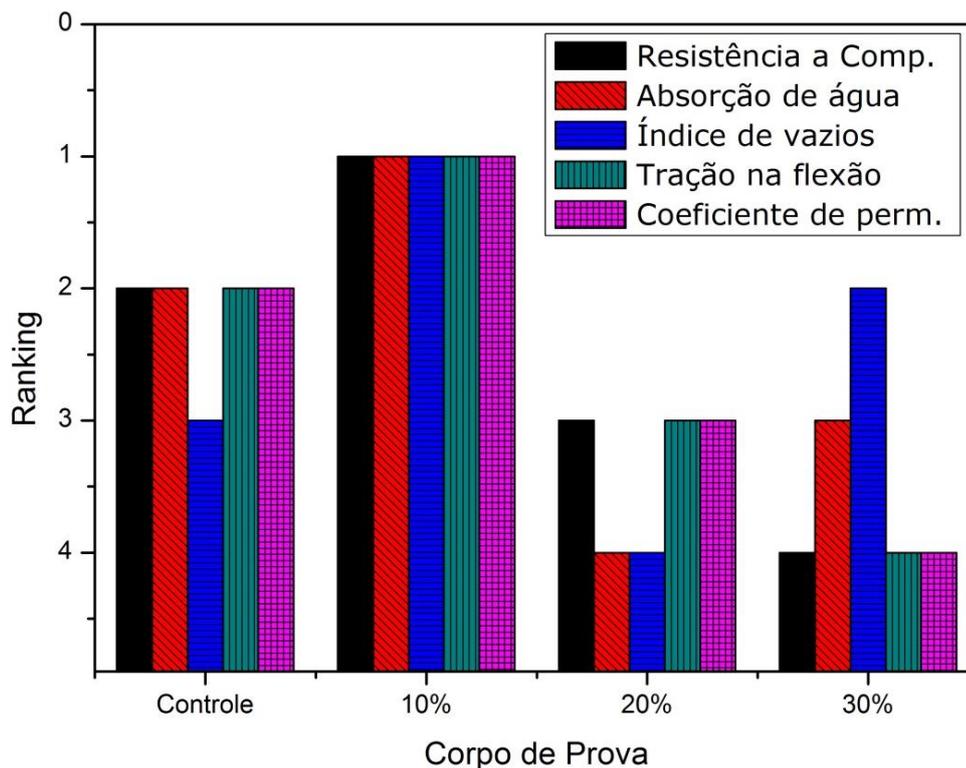


Figura 54: Comparação dos resultados obtidos nos diversos testes
Fonte: Autor, 2018.

Observou-se que no ranking que a amostra de 10% se destacou em todos os ensaios estabelecendo-se assim um padrão limítrofe para utilização da fibra de coco em 10% ou valores próximos a este. As amostras de controle ficaram em segundo lugar em quase todos os testes com exceção do índice de vazios que apresentou índices mais elevados nas amostras de 30%. As amostras de 30% foram as que atingiram os piores resultados ficando assim em último lugar neste *ranking* uma vez que em três de cinco testes apresentaram resultados piores.

Com base nesta análise estipulou-se a seguinte ordem de ranqueamento.

- 1º - Amostras de 10%
- 2º - Controle

3º - Amostras de 20%

4º - Amostras de 30%

Interpretou-se que nas amostras de 10% as fibras funcionaram como “conexões” entre os agregados sendo “colados” pelo material ligante que é o cimento preservando as propriedades encontradas nas amostras do controle. Nas demais dosagens esse fator foi sobrepujado pela dificuldade de se obter uma massa homogênea e na resistência a compressão e tração da fibra ser muito inferior à da brita.

5. CONCLUSÕES

Foram encontrados valores com alta variabilidade, porém essa oscilação acidental é considerada própria para os ensaios com compósitos a base de concreto. Uma vez que o concreto é um material compósito composto basicamente por cinco componentes, que são: cimento, água, areia, brita e aço, onde ao menos o cimento, a areia e a brita possuem características que também podem oscilar bem mais do que, por exemplo, os metais ou polímeros, pois são influenciados pela jazida ou maneira de fabricação ou até mesmo o tempo de armazenamento.

O teste para a permeabilidade, fator relevante para esse estudo, obteve resultados expressivos, visto que se aproximaram de 400% ao que é solicitado em norma.

No ensaio para tração na flexão, obteve-se resultados muito próximos ao que se estabelece na norma, onde as amostras de 10% obtiveram melhores desempenhos com resistência média de 2,29MPa que é cerca de 14,5% acima do mínimo pretendido. Este fato também ocorreu com as amostras de 10% na resistência a compressão que atingiram 12MPa aproximadamente onde se esperava estar entre 2,8 e 28MPa.

Observando todos os resultados obtidos pelos testes laboratoriais ficou claro a viabilidade da utilização da fibra de coco para atuar como agente ecológico e de reforço de propriedades nos concretos permeáveis para pavimentos, porém, limitando-se a 10% de substituição da brita, sendo que, as demais dosagens apresentaram perda de propriedades importantes para este tipo de pavimento.

Como a fibra de coco é um material vegetal rico em lignina, celulose e hemiceluloses, levando de oito a dez anos para se decompor no ambiente, o aproveitamento desse resíduo proporciona benefícios econômico, social, agrônômico, ambiental e reduz agentes transmissores de doenças.

6. TRABALHOS FUTUROS

Como o presente estudo limitou-se a analisar as dosagens previstas e demonstrou viabilidade técnica e econômica, sugere-se aqui novos objetos de estudo:

- 1) Testar subdosagens entre 10 e 20% de substituição de fibra;
- 2) Testar o comportamento do material com relação a abrasão;
- 3) Utilizar endurecedores químicos em busca de melhorar resultados;
- 4) Analisar a utilização de outras fibras;
- 5) Alterar o fator água/cimento e analisar a influência sobre o compósito;
- 6) Testar dosagens pequenas de agregado miúdo;
- 7) Analisar a espessura e comprimento médios das fibras e a influência dessas dimensões nos resultados finais das análises;
- 8) Realizar estudos com a fibra triturada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOTELHO, M.; Marchetti, O. Livro de Concreto: **Concreto Eu Te Amo**. 7ª ed., São Paulo: Editora Blucher Ltda., 2012, 726p.
- [2] XIMENES, S. . **Dicionário de Português**. 6ª ed., Rio de Janeiro: Ediouro Publicações S.A, 1999, p.619.
- [3] FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**. Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.
- [4] BALBO, J.T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 472 p.
- [5] SENÇO, WLASTERMILER DE, 1929 – **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1/ Wlastermiler de Senço**. – 2 de. Ampl. – São Paulo: Pini, 2007
- [6] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.
- [7] RODRIGUES, PÚBLIO PENNA FIRME – **Manual Gerdau de pisos industriais / Públio Penna Firme Rodrigues, Silvia Maria Botacini, Wagner Edson Gaspareto**; 2006
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1998. 116p.
- [9] **PR-2 Conceitos e requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável**. Associação Brasileira de Cimento Portland. 8p, 2012.
- [10] GONÇALVES, JARDEL. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- [11] BUCHER, H. R. E. e RODRIGUES FILHO, H. C. - **Argamassas de enxofre para capeamento de corpos de prova. Seminário sobre controle de resistência do concreto**, IBRACON, São Paulo, 1983.
- [12] FRUTAS DO BRASIL. **Coco: pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002
- [13] EMBRAPA, **Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro**. Circular técnica 46.
- [14] BRÍGIDA, A. I. S.; Calado, V. M. A.; Gonçalves, L. R. B.; Coelho, M. A. Z.; **Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber**. Carbohydrate Polymers, v.79, p.832-838, 2010.

- [15] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR16416:** Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- [16] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12655:** Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.
- [17] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118:** Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.
- [18] CABRAL, A. E. B. . **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando a variabilidade da composição do RCD.** Dissertação (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2007,208p.
- [19] BARIN, D. S. . **Carbonatação e Absorção Capilar em Concretos de Cimento Portland Branco com Altos Teores de Adição de Escória de Alto Forno e Ativador Químico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de Santa Maria - UFSM, RS, 2007, 171p.
- [20] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5738:** Moldagem e Cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.
- [21] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.
- [22] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR9778:** Absorção de Água por Índice de Vazios. Rio de Janeiro, 2009.
- [23] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12142:** Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2004.
- [24] SOUZA, S. J. G. ; HOLANDA, J. N. F. . **Avaliação das propriedades físico-mecânicas de uma massa cerâmica de revestimento poroso (BIII).** Link: “www.scielo.br”, 2005.
- [25] AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H. **Fibras vegetais como materiais de construção.** In: ISAIA, G. C. (editor) Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.
- [26] GOEDE, W. G. **Pervious Concrete: Investigation into Structural Performance and Evaluation of the Applicability of Existing Thickness Design Methods.** 2009, 198p. Thesis (Master in Engineering), Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, Washington DC, 2009.
- [27] ACI COMMITTEE 522. **522R-10** Report on Pervious. 2010, 38p.

- [28] NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**, Editora Pini, 2º ed., pp.828, 1997.
- [29] TENNIS, P.D.; LEMING, M.L.; AKERS, D.J. **Pervious Concrete Pavements**, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2004. 36p.
- [30] BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado engenharia civil), USP, São Paulo. 2013. 133p.
- [31] ENCICLOPÉDIA Time LIFE™. **Estrutura da Matéria**. 2ª Ed., Rio de Janeiro: Abril Livros Ltda., 1996, p.151.
- [32] SMITH, W. F. ; HASHEMI, J. . **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5ª ed., Porto Alegre , AMGH Editora Ltda., 2012, 715p.
- [33] SANTOS, A. C, **Avaliação do comportamento do concreto de borracha obtida a partir da reciclagem em placas pré-moldadas** – Universidade Federal de Alagoas – Mestrado em Engenharia Civil- Alagoas, 2005.
- [34] BEAN, E. Z.; HUNT, W. F.; BIDELESPACH, D. A. **Field Survey of Pavement Surface Infiltration Rates**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 133, No. 3, June, 2007.
- [35] FONSECA, G. C. . **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010, 105p.
- [36] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13818**: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- [37] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparos de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- [38] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2005.
- [39] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM67**: Ensaio de Abatimento do Concreto. Rio de Janeiro - 2003.
- [40] AL ORAIMI S, SEIBI A. **Mechanical characterization and impact behavior of concrete reinforced with natural fibres**, Compos Struct, v. 32, p. 165-71, 1995.
- [41] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete**. ASTM 1701/C. PENNSYLVANIA, 2009.

- [42] ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDEFUM J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG. PortoAlegre, 1999.
- [43] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças de concreto para pavimentação** – Especificação. NBR9781. Rio de Janeiro, 1987.
- [44] Associação das Rodovias do Japão, 1996. **Projeto Diretriz da Tecnologia da Pavimentação Drenante**, 111p.
- [45] BOTELHO, M.; Marchetti, O. Livro de Concreto: **Concreto Eu Te Amo**. 7ª ed., São Paulo: Editora Blucher Ltda., 2012, 726p.
- [46] BOTTEON, LETÍCIA MACHADO. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 2017. 95p.
- [47] CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D., Ravindrarajah , R. S. . **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. DEECC, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2009.
- [48] CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.
- [49] CARDOSO, JOSIANE MOREIRA. **AVALIAÇÃO DA FIBRA DE COCO (mesocarpo do fruto de Cocos nucifera L.) COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DO AGROTÓXICO PARATIONA METÍLICA DE MEIO AQUOSO**. Universidade de Goiás, 2017, 83f.
- [50] CARVALHO, J. D. N. . **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, 2008, p.19-28.
- [51] COSTA, ADRIANO RICARDO BORGES. **Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis**. Dissertação (Mestrado em Materials) Centro universitário de Volta Redonda - FOA, RJ, 2016, 166p.
- [52] GIECK, K. **Manual de Fórmulas Técnicas**. 25ª Ed. ampliada, São Paulo: Hemus Livraria e Editora Ltda., 1976, p. 221.
- [53] IEZZI, G.; DOLCE, O.; DEGENSZAJN, D. M.; PÉRIGO, R. . **Matemática Volume Único**. 1ª Ed., São Paulo - SP: Atual Editora Ltda., 1997, p.651.
- [54] JCPDS - **Joint Committee on Powder Diffraction Standard. Inorganic Materials**. Pensilvania: International Centre for Diffraction Data Swarthmore. 1979.

- [55] LAPA, J. S. . **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008, 56p.
- [56] OLIVEIRA, A. P. N. . **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos.** Revista Cerâmica Industrial, SC, nov./dez. 2000.
- [57] OLIVEIRA, A. P. N. . **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos.** Revista Cerâmica Industrial, SC, nov./dez. 2000.
- [58] OLIVEIRA, I B. C.; SILVESTRE, M. E. R.; MEDEIROS, J. L. G.. **Confecção de concreto com agregados reciclados** - VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas,Tocantins, 2012.
- [59] POPP, J. H. . **Geologia Geral.** 6ª ed. Revisada, Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. , 2012, 309p.
- [60] **Procedimento gerencial de validação de métodos.** EMBRAPA. 19p, Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008.
- [61] RAMALHO JR, Francisco; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os Fundamentos da Física 1.** Livro : Física - 6ª Ed.,vol.1, São Paulo : Editora Moderna Ltda., 1993, p.480.
- [62] RESNICK, R.; HALLIDAY, D. . **Física I-2.** 2ª Ed., Rio de Janeiro- RJ: LTC Livros Técnicos e Científicos S.A., 1976, p.759.
- [63] RODRIGUES, PÚBLIO PENNA FIRME – **Manual Gerdau de pisos industriais** / Públío Penna Firme Rodrigues, Silvia Maria Botacini, Wagner Edson Gaspareto; 2006
- [64] SAMPAIO, ZODÍNEO LAURISSA MONTEIRO. **Análise do comportamento mecânico de concretos produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar de variedades SP911049, RB92579 E SP816949.** UFRN. Natal, 2013.
- [65] SANTOS, CRISTIANO DE ASSUMPCÃO. **Impacto da utilização de pavimentação permeável em áreas urbanas na recuperação de bacias hidrográficas**– *Dissertação*, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.
- [66] SILVA, M. A. da. **Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagens de cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, 2013,111p.
- [67] SMITH, D. R. **Permeable Interlocking Concrete Pavements.** 4th edition. ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute.Washington D.C., 2011.