



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

AILDSON VIEIRA FRASÃO

**APLICAÇÃO DE FIBRAS DE COCO E FIBRAS POLIMÉRICAS EM CONCRETO
PARA PISOS INTERTRAVADOS**

FORTALEZA

2017

AILDSON VIEIRA FRASÃO

APLICAÇÃO DE FIBRAS DE COCO E FIBRAS POLIMÉRICAS EM CONCRETO PARA
PISOS INTERTRAVADOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção de título de Engenheiro civil.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F919a Frasão, Aildson Vieira.
 Aplicação de fibras de coco e fibras poliméricas em concreto para pisos intertravados / Aildson Vieira
Frasão. – 2017.
 41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.

1. Resíduos sólidos. 2. Construção civil. 3. Piso intertravado. 4. Fibra de coco. 5. Sustentabilidade. I. Título.
CDD 620

AILDSON VIEIRA FRASÃO

APLICAÇÃO DE FIBRAS DE COCO E POLIMÉRICAS EM CONCRETO PARA PISOS
INTERTRAVADOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção de título de Engenheiro civil.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Mibson Michel Santiago Ramos
Engenheiro Civil

A Deus.

Aos meus pais, Ademar e Rosângela.

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor orientador Ronaldo Stafanutti e ao engenheiro Mibson Michel Santiago Ramos, por suas competências e conhecimentos compartilhados, pela orientação, dedicação, incentivo, sugestões valiosas e participação efetiva e indispensável neste trabalho.

À minha família, por me incentivarem e me apoiarem durante esta longa caminhada. Agradeço pelos conselhos e pela confiança depositada em mim.

Ao técnico Maurício Barreto do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) pela ajuda, disponibilidade e pelas sugestões fornecidas nos ensaios

Aos meus amigos Antônio Victor, Yarinne Soares, Alan Victor, Ricardo Sandro, David Melo, Edilany Aguiar e diversos colegas companheiros de estudos. Agradeço pelas diversas horas de estudos e trabalhos realizados ao longo deste período de aprendizagem.

Ao Webert Brasil, Bárbara Vitorino e ao professor Eduardo Cabral pela ajuda fornecida durante a pesquisa e pelos conhecimentos compartilhados.

“A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces.” (Aristóteles)

RESUMO

Este estudo procurou elaborar um comparativo entre o concreto convencional utilizado para elaboração de pisos intertravados e o concreto com adição de fibras de coco e fibra polimérica, determinando assim, suas vantagens e desvantagens na construção civil. O coco existe em abundância na nossa região, portanto tem seu uso incentivado por serem renováveis, biodegradáveis e de baixo custo. Pretende-se realizar uma coleta de dados por meio de amostras e ensaios em laboratório e analisar a viabilidade desse resíduo para a construção civil. A importância desse estudo reflete na questão ambiental e socioeconômica, pois o resíduo de coco que iria para um aterro, será aproveitado em outra atividade, evitando uma sobrecarga no aterro e prolongando sua vida útil. Já na questão socioeconômica, a utilização das fibras pode gerar um novo tipo de atividade, tanto na coleta da matéria prima quanto na produção da própria fibra, gerando uma nova fonte de renda e emprego.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Construção civil. Piso intertravado. Fibra de coco. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aimed to compile a comparison between the conventional concrete used for the elaboration of interlocked floors and the concrete with the addition of coconut fiber and polymer fiber, thus determining its advantages and disadvantages in civil construction. Coconut is abundant in our region, so its use is encouraged because it is renewable, biodegradable and low cost. It is intended to carry out a data collection through samples and laboratory tests and to analyze the viability of the waste for the civil construction. The importance of the study reflects on the environmental and socioeconomic issue, since the coconut residue that would go to a landfill will be used in another activity, avoiding an overload in the landfill and extending its useful life. In the socioeconomic question, a use of the fibers can generate a new type of activity, both in the raw material collection and in the production of the fiber itself, generating a new source of income and employment.

Keywords: Solid waste. Civil construction. Interlocking flooring. Coconut fiber, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Modelo de perfil das camadas do pavimento intertravado.....	17
Figura 2	– Coco e suas partes.....	20
Figura 3	– Foto das britas 12,5 mm e 19,0 mm da esquerda para a direita respectivamente.....	21
7Figura 4	– Foto da areia natural S1 e areia artificial S2 respectivamente.....	22
Figura 5	– Foto do cimento CP V – ARI.....	22
Figura 6	– Amostra de fibra de coco desfiada.....	23
Figura 7	– Amostra de fibra polimérica.....	23
Figura 8	– Material guardado em baldes.....	25
Figura 9	– Micrômetro digital.....	25
Figura 10	– Betoneira utilizada.....	27
Figura 11	– Molde do tronco de cone com medida do abatimento.....	28
Figura 12	– Aparelho vibrador utilizado.....	28
Figura 13	– Corpos de prova submetidos a cura inicial de 24 horas.....	29
Figura 14	– Corpos de prova armazenados no tanque.....	29
Figura 15	– Retificação dos corpos de prova cilíndricos.....	30
Figura 16	– Marcação das linhas nos corpos de prova prismáticos.....	30
Figura 17	– Equipamento EMIC, modelo PCE 100C.....	31
Figura 18	– Corpo de prova prismático posicionado no equipamento.....	32
Figura 19	– Corpo de prova cilíndrico posicionado no equipamento.....	33
Figura 20	– Corpo de prova prismático de referência rompido.....	37
Figura 21	– Corpo de prova prismático com fibras poliméricas rompido.....	38
Figura 22	– Corpo de prova prismático com fibras de coco rompido.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento dos traços quanto à compressão	35
Gráfico 2 – Comportamento dos traços quanto à tração.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traço de referência utilizado.....	24
Tabela 2 – Massa dos materiais utilizado nos traços T1, T2 e T3.....	24
Tabela 3 – Diâmetros das fibras de coco e poliméricas com seus fatores de forma.....	26
Tabela 4 – Resultado da resistência a compressão para os CPs de referência.....	34
Tabela 5 – Resultado da resistência a compressão para os CPs com fibras poliméricas.	35
Tabela 6 – Resultado da resistência a compressão para os CPs com fibras de coco.....	35
Tabela 7 – Resultado da resistência à tração para os CPs de referência.....	36
Tabela 8 – Resultado da resistência à tração para os CPs com fibras poliméricas.....	36
Tabela 9 – Resultado da resistência à tração para os CPs com fibras de coco.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPs	Corpos de prova
DEECC	Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil
LAMETRO	Laboratório de Metrologia Mecânica
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
PCP	Peça de Concreto Pré-fabricada
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Resíduos Sólidos	15
2.2 Histórico da Pavimentação	16
2.3 Piso Intertravado	17
2.4 Requisitos específicos para as Peças de Concreto	18
2.5 Fibras em concretos e suas características	19
2.6 Fibras de coco	20
3 METODOLOGIA	21
3.1 Coleta de material	21
<i>3.1.1 Agregado graúdo</i>	21
<i>3.1.2 Agregado miúdo</i>	21
<i>3.1.3 Cimento e água</i>	22
<i>3.1.4 Fibras de coco</i>	23
<i>3.1.5 Fibras poliméricas</i>	23
3.2 Definição do traço e volumes de materiais	24
3.3 Definição do comprimento das fibras	25
3.4 Execução dos corpos de prova	27
3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão	31
3.6 Ensaio de resistência à compressão	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 Resistência à compressão	34
4.2 Resistência à tração	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos tem crescido muito com o decorrer dos anos, devido à necessidade de manter um desenvolvimento econômico e material, sem agredir o meio ambiente, usando os recursos naturais de maneira inteligente e preservando-os no futuro. (MARTINHO e GONÇALVES, 2000).

A geração desses resíduos é algo que acontece em todos os setores da sociedade, como em comércios, indústrias, hospitais, residências, construção civil, e não pode ser eliminada completamente. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) obriga que os respectivos geradores de resíduos sólidos gerenciem, de modo consciente e transparente, tudo aquilo que se é produzido, tanto nos setores públicos como privados.

A construção civil tem um grande impacto no crescimento econômico e social, e por esse motivo, é um dos setores que mais sofrem economicamente, podendo ter crescimentos expressivos ou baixas consideráveis. É também uma área expressiva quando se trata de geração de resíduos sólidos e impactos ambientais, pois além do intenso consumo de recursos naturais, realizam muitas alterações na paisagem através de suas obras. O setor de resíduos sólidos na construção civil tem um grande desafio de conciliar a atividade produtiva e lucrativa com o desenvolvimento sustentável, e a partir disso, realizar um gerenciamento adequado dos Resíduos da Construção Civil (RCC) para evitar que se disponham em locais inapropriados.

De modo geral, esses resíduos são de baixa periculosidade e não apresentam grandes prejuízos, porém, o grande volume gerado e a disposição irregular desses materiais acarreta nos problemas de cunho estético, ambiental e até mesmo com relação a saúde pública, pois em alguns casos há presença de materiais orgânicos, produtos químicos e tóxicos, ocasionando na proliferação de insetos, ratos e outros tipos de agentes nocivos à saúde da população.

No Brasil, Cerca de 350 mil toneladas de resíduos são descartados anualmente. Como todo material orgânico, a fibra de coco não é diferente, sofrendo decomposição com o tempo, a uma média de 12 anos. Nesse período é emitido o gás metano (CH₄), gás que é prejudicial ao meio ambiente, pois colabora com o aumento do efeito estufa, além de poluir o solo e seu habitat para animais transmissores de doenças. A adição de fibras naturais no concreto podem melhorar as suas propriedades mecânicas, como a resistência à flexão, tração e ao impacto, contribuindo na redução de fissuras no concreto e aumentando a capacidade de absorção de água, visto que o asfalto é um ótimo impermeabilizante e previne a infiltração da

água nos lençóis freáticos (SILVA, MARQUES, JUNIOR, FORNARI, 2012).

A importância do estudo de utilização de fibra de coco no concreto é uma tentativa de melhorar as qualidades do material intertravado, utilizando materiais que iriam ser descartados em aterros, minimizando eventuais impactos ambientais. Com a reutilização, é possível obter uma redução nos custos de construção, uma economia dos recursos naturais, gerar emprego, renda e tornar a cidade mais sustentável com a diminuição dos impactos negativos do coco ao meio ambiente.

1.1 Objetivo geral

O estudo consiste na aplicação da fibras de coco e fibras poliméricas em peças de concreto para pavimentação intertravada, visando o melhoramento das propriedades físicas em relação ao concreto convencional utilizado para pavimentos.

1.2 Objetivos específicos

- a) Realizar ensaios de resistência à tração na flexão para traço de referência, com fibras poliméricas e com fibras de coco;
- b) Realizar ensaios de resistência à compressão para traço de referência, com fibras poliméricas e com fibras de coco;
- c) Analisar a viabilidade da fibra de coco com relação ao intertravado;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos

Segundo a ABNT NBR 10004/2004, p.1, são caracterizados como resíduos sólidos aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, originados de indústrias, residências, hospitais, comércios, agricultura, serviços e de varrição, incluindo lodos oriundos de estações de tratamento de água, e instalações de controle de poluição, assim como alguns líquidos com características que não permitam sua emissão na rede pública de esgotos ou na água, ou necessitem para isso de técnicas e inviáveis financeiramente para a tecnologia disponível. A norma também define a periculosidade de um resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou contaminantes, sendo prejudiciais ao meio ambiente quando usado de forma errada ou trazendo riscos a população, provocando doenças ou mortalidade.

Os resíduos podem ser classificados como:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos;

De acordo com a ABNT NBR 10004/2004, p.3, os resíduos de classe I, ou perigosos, são aqueles que apresentam alta periculosidade e tem como características serem inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos. Os resíduos de classe II, ou não perigosos, são aqueles que não oferecem perigo e podem ser divididos em não inertes (classe IIA) ou inertes (classe IIB).

Conforme ABNT NBR 10004/2004, p.5, resíduos não inertes tem como características a solubilidade em água, biodegradabilidade e combustibilidade. Resíduos inertes tem como características a não solubilização de nenhum de seus constituintes quando estes se encontram em contato (estático ou dinâmico) com água destilada, em temperatura ambiente a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, com exceção dos padrões de cor, turbidez e sabor.

2.2 Histórico da Pavimentação

Fioriti (2007) cita que os povos na antiguidade sentiram a necessidade de construir caminhos, atalhos e estradas para vencer as grandes distâncias que existiam entre as outras civilizações, e com isso, estabelecer uma comunicação entre eles.

Pioneiros na construção de caminhos para transporte de carga e pessoas entre as vilas e colônias, os Etruscos dominaram a Itália no período de 800 a 350 a.C utilizando técnicas para ligar grandes distâncias e usando materiais disponíveis na época para dar um acabamento plano a superfície. Eram adicionadas pedras de mão nos revestimentos do trajeto, junto com um material mais fino, para fornecer maior segurança para a população na presença de água na superfície (CRUZ, 2003).

Conforme o tempo foi passando, este tipo de pavimento sofreu diversas evoluções, primeiro, para o uso de pedras talhadas, originando os pavimentos conhecidos hoje como paralelepípedos e posteriormente o desenvolvimento da Peça de Concreto Pré-fabricada (PCP). Cruz (2003) comenta que a primeira peça foi feita no final do século XIX e que após a Segunda Guerra Mundial, países como a Holanda e Alemanha realizaram avanços no uso da pavimentação desse bloco e no ano de 1963, de acordo com Fernandes (2016), a primeira cidade do mundo a ser pavimentada com paver foi a cidade de Stuttgart, na Alemanha. Em 1960, as PCPs já estava sendo adotadas comercialmente nas Américas Central e do Sul e África do Sul e no ano de 1970, o seu uso foi expandido para Austrália, Nova Zelândia, Japão e Estados Unidos da América.

No Brasil, a partir da década de 70, começou-se a utilização desse intertravado. Máquinas de produção automatizada foram instauradas e equipamentos, que na época eram de alta tecnologia, permitiram a produção de peças de qualidade, com formas e cores distintas e mais atrativas esteticamente (ABCP, 2012).

2.3 Piso Intertravado

Segundo a NBR 15953/2011, p.2, define-se piso intertravado como um pavimento flexível feito de base ou de base com sub-base, coberto por uma camada de revestimento feito de peças de concreto por cima de uma camada de assentamento, onde as juntas entre as peças são preenchidas por material de rejunte e o intertravamento da estrutura é ajustado pela contenção. O pavimento intertravado pode ser usado para pavimentação de ruas, calçadas de condomínios e casas, pátios industriais, acesso a garagens, praças e jardins, aeroportos e outros. Tem como principal característica o fato de serem ecológicos pois ajudam a manter a permeabilidade do solo. A Figura 1 representa um modelo de camada de pavimento intertravado.

Figura 1 – Modelo de perfil das camadas do pavimento intertravado.



Fonte: Paver (2012).

Sua fabricação envolve procedimentos simples, mas exige um perfeito controle de qualidade que começa nos ensaios laboratoriais da matéria prima. A partir de uma dosagem adequada entre agregados, cimento e aditivos, o material segue para o equipamento misturador, onde é feita a homogeneização da mistura, acrescentando pigmento e água. A mistura vai para o molde, onde será prensada. Feita a cura, os blocos são ensaiados de acordo com a norma para garantir sua qualidade, uniformidade e durabilidade, onde depois são colocadas sobre os palets.

Os benefícios do piso intertravado não são apenas estruturais, mas também, estéticos, econômicos e ecológicos, sendo quase que unânimes em projetos de base arquitetônica. Suas vantagens são tanto em curto, como em longo prazo, gerando excelente custo benefício em obras de longa extensão, onde gera a padronização de espaços ao torná-los personalizados de acordo com o lugar.

De acordo com Junior (2007) as vantagens do bloco intertravado de concreto são:

- a) Pouca absorção de luz solar;
- b) Apresentam alto valor paisagístico e capacidade estrutural;
- c) Podem ser reutilizados;
- d) Não precisam de mão-de-obra especializada;
- e) Os materiais já chegam prontos para a aplicação;
- f) Fácil reparação.

2.4 Requisitos específicos para as Peças de Concreto

Segundo a NBR 9781/2013, alguns requisitos precisam ser realizados para a aceitação das peças de concreto na pavimentação de maneira geral. Deve ser composto por cimento Portland, água e agregados, podendo ser utilizados alguns aditivos. Devem ser submetida a três ensaios específicos, que são a resistência a compressão, absorção de água e resistência à abrasão.

A resistência à compressão deve atender as especificações da norma, que diz que aos 28 dias, deve-se atingir uma resistência de 35 MPa ou maior para solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e 50 MPa ou maior para solicitações de tráfego de veículos especiais. As peças de concreto com idade menor que 28 dias devem apresentar pelo menos 80% da resistência especificada na norma, no momento da sua instalação.

Com relação à absorção de água, devem possuir valor médio menor ou igual a 6% não admitindo valor único maior que 7%. Para a resistência à abrasão, o ensaio é optativo e deve possuir cavidade máxima de 23 mm para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e 20 mm para tráfego de veículos especiais e solicitações que provoquem altos efeitos de abrasão.

A norma ainda cita que os lotes devem ser inspecionados visualmente para evitar problemas de assentamento, estruturais e estéticos do pavimento.

2.5 Fibras em concretos e suas características

As fibras por definição são materiais finos, fibrilados e alongados. São elementos descontínuos, onde o comprimento é bem maior que a dimensão da seção transversal e podem ser classificadas em fibras naturais, artificiais e sintéticas. As fibras naturais são encontradas comumente na natureza, as artificiais são fabricadas pelo homem, assim como as sintéticas, porém, estas se diferem por serem provenientes de produtos químicos (FIGUEIREDO, 1999a).

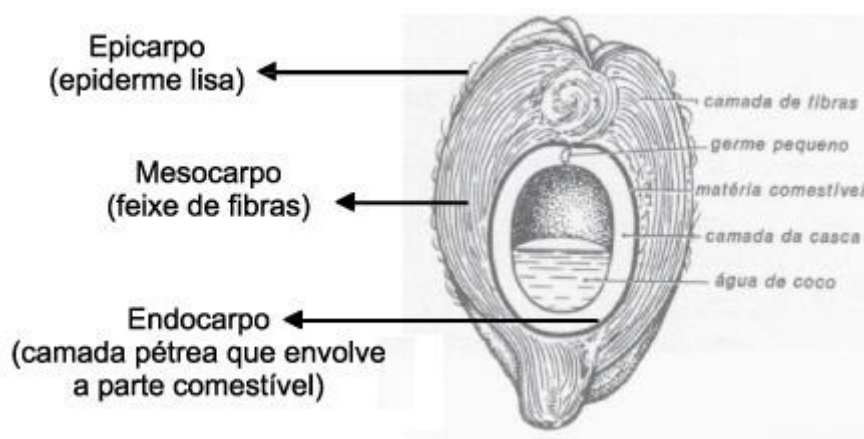
Elas podem melhorar diversas características do concreto, como sua trabalhabilidade ainda em estado fresco, durante o processo de cura e ainda aumentando a capacidade estrutural na fase endurecida. Quando lançada na concreteira sobre os agregados ou no caminhão betoneira, ela forma uma armadura tridimensional uniforme no concreto que combate os esforços da retração. A atuação da fibra se dá quando o módulo de elasticidade dela é maior que a do concreto, ou seja, nas primeiras horas que é quando não se tem condições de fazer cura. Quando uma trinca começa a se formar, ela é interceptada pelas fibras, que começam a segurar e não deixam que essa fissura aumente, eliminando a continuidade da mesma (FIGUEIREDO, 1999a).

Como vantagens adicionais devido aplicação de fibras, temos a redução na migração de água, redução na permeabilidade do concreto, aumento da resistência a abrasão, aumento da resistência ao impacto (FIGUEIREDO, 1999a).

2.6 Fibras de coco

De acordo com Mathai (2005), o coqueiro é mundialmente conhecido como árvore de vida devido as várias possibilidades de utilização de todas as suas partes, pois além de ser um alimento rico em nutrientes e de alto potencial comercial, seus resíduos podem ser facilmente aproveitados (casca fibrosa), eliminando o descarte de resíduos no meio ambiente. É um fruto facilmente cultivável, leva em torno de doze meses para amadurecer, produz durante o ano todo e necessita de uma grande quantidade de fósforo e cálcio. Compõe um exocarpo, que é a parte lisa do coco, mesocarpo, que é a parte intermediária e endocarpo, que é uma casca dura e lenhosa. (SENHORAS, 2003). A Figura 2 mostra o coco e suas partes.

Figura 2 – Coco e suas partes.



Fonte: Ferreira et al.,1998.

A fibra do coco é composta por lignocelulósicos, que são aferidos do mesocarpo do coco, ou *cocus nucifera*, que tem como característica sua durabilidade, originado do alto teor de lignina, 41% a 45%, em comparação com outros materiais fibrosos naturais. Quando maduro, as fibras aparentam ser lenhosas e duras, e nos frutos verdes, são moles e com grande teor de umidade, ofertando uma fibra celulósica (SENHORAS, 2003).

No Brasil, o coqueiro anão é o tipo de coqueiro com maior desenvolvimento, pois sua produção é voltada ao comércio de frutos verdes e comercialização da água de coco. Já a produção do coco seco concentra-se na região litorânea do Nordeste, sendo cultivado de forma ampla ou não, destinados especialmente para produção de leite de coco e/ou coco ralado, além de ser vendido, sem serem processados (CUENCA, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta de material

Inicialmente, para a realização deste trabalho, foram utilizados materiais já caracterizados e coletados de uma outra pesquisa acadêmica já realizada, assim como o traço de referência a ser utilizado.

3.1.1 Agregado graúdo

Os agregados graúdos utilizados foram dois tipos de britas, as britas 12,5 mm e 19,0 mm. A Figuras 3 (a) e (b) mostra os dois tipos de brita utilizados.

Figura 3 – Foto das britas 12,5 mm e 19,0 mm da esquerda para a direita respectivamente.



(a)



(b)

Fonte: Autor (2017).

3.1.2 Agregado miúdo

Os agregados miúdos utilizados foram dois tipos de areia, uma areia natural e uma artificial. A diferença entre elas se dá através do processo de britagem dos agregados graúdos. A areia natural tem uma granulometria mais fina do que a artificial. Estas foram chamadas de areia S1 e S2 respectivamente e podem ser observadas na figura 4.

Figura 4 – Foto da areia natural S1 e areia artificial S2 respectivamente.



(a)

(b)

Fonte: Autor (2017).

3.1.3 Cimento e água

O cimento utilizado foi o da classe CP V – ARI, disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC), assim como a água usada para a realização dos ensaios. A Figura 5 mostra a foto do cimento CP V – ARI.

Figura 5 – Foto do cimento CP V – ARI.



Fonte: Autor (2017).

3.1.4 Fibras de coco

As fibras de coco foram retiradas do estoque do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde posteriormente foram cortadas para a realização dos ensaios. Uma amostra das fibras pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Amostra de fibra de coco.



Fonte: Autor (2017).

3.1.5 Fibras poliméricas

A macrofibra polimérica utilizada foi disponibilizada pelo professor Eduardo Cabral do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil (DEECC) da Universidade Federal do Ceará (UFC) como fibra comparativa com a fibra de coco utilizada. Uma amostra das fibras pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 – Amostra de fibra polimérica.



Fonte: Autor (2017).

3.2 Definição do traço e volumes de materiais

Para esta pesquisa, foram moldados 18 corpos de provas cilíndricos de 10cm de diâmetro e 20cm de altura e 6 corpos de provas prismáticos de 15cm de altura, 15cm de largura e 50cm de comprimento. Foram definidos 3 traços para esta pesquisa, um traço para o concreto normal (T1), outro para o concreto com a adição das fibras poliméricas (T2) e outro para o concreto com a adição das fibras de coco (T3). Foram utilizados a quantidade de 0,1% de fibras, tanto de coco quanto polimérica, em relação ao volume de concreto utilizado para as amostras. Como dito anteriormente, o traço utilizado foi um de referência utilizado em uma pesquisa para pisos intertravados que é utilizado pela empresa OCS, especializada em fabricação de peças intertravadas. O traço pode ser observado conforma a Tabela 1.

Tabela 1 – Traço de referência utilizado.

	Areia S1	Areia S2	Brita 19	Brita 12,5	Cimento	Água a/c	Soma
Traço	2,33	2,33	0,45	1,97	1	0,73	8,81

Fonte: Autor (2017).

Com a quantidade de corpos de prova que foram utilizados, foi determinado o volume total do material que foi de 32 litros. As quantidades necessárias de cada material podem ser observadas na Tabela 2. O material foi guardado em baldes como mostra a Figura 8.

Tabela 2 – Massa dos materiais utilizado nos traços T1, T2 e T3.

	Areia S1 (kg)	Areia S2 (kg)	Brita 19 (kg)	Brita 12,5 (kg)	Cimento (kg)	Água (kg)
Massa T1	21,105	21,105	4,076	17,844	9,058	6,612
Massa T2	21,105	21,105	4,076	17,844	9,058	6,612
Massa T3	21,105	21,105	4,076	17,844	9,058	6,612

Fonte: Autor (2017).

Figura 8 – Material guardado em baldes



Fonte: Autor (2017).

3.3 Definição do comprimento das fibras

O comprimento das fibras foi determinado a partir do fator de forma (λ), que é um valor obtido através da divisão do comprimento da fibra com o diâmetro da mesma. Aumentando o comprimento da fibra ou reduzindo sua seção transversal, o valor do λ aumenta. Quanto maior o λ , melhor será sua capacidade resistente (FIGUEIREDO, CECCATO; TORNERI, 1997).

Foi utilizado um micrômetro digital, conforme visto na Figura 9, obtido no Laboratório de Metrologia Mecânica (LAMETRO) para a realização das medidas dos diâmetros das fibras.

Figura 9 – Micrômetro digital



Fonte: Autor (2017).

Foi realizado uma medição de 10 fibras de cada tipo e obtido um diâmetro médio de cada uma delas. O comprimento das fibras poliméricas era de 5,2cm, portanto, as fibras de coco foram cortadas em 4cm de comprimento para fixar o fator de forma entre elas. Segundo Maidl (1991) as fibras devem possuir tamanho igual ou maior que o dobro da dimensão máxima característica do agregado usado no concreto para haver maior compatibilidade das fibras no agregado, possibilitando uma maior aderência da atuação destas fibras no reforço do concreto. A Tabela 3 mostra os valores obtidos nas 10 amostras de cada uma das fibras e suas respectivas médias, assim como seus fatores de forma.

Tabela 3 – Diâmetros das fibras de coco e poliméricas com seus fatores de forma

Fibra de Coco	Diâmetro (mm)	Fibra polimérica	Diâmetro (mm)
Amosta 1	0,293	Amosta 1	0,336
Amosta 2	0,278	Amosta 2	0,341
Amosta 3	0,263	Amosta 3	0,328
Amosta 4	0,268	Amosta 4	0,356
Amosta 5	0,225	Amosta 5	0,376
Amosta 6	0,249	Amosta 6	0,334
Amosta 7	0,257	Amosta 7	0,357
Amosta 8	0,276	Amosta 8	0,341
Amosta 9	0,262	Amosta 9	0,336
Amosta 10	0,277	Amosta 10	0,353
Média	0,2648	Média	0,3458
Fator de Forma (Fibra de Coco)		Fator de Forma (Fibra Polimérica)	
151,0574018		150,3759398	

Fonte: Autor (2017).

3.4 Execução dos corpos de prova

Depois de coletado todo o material, foi realizado o processo de fabricação dos corpos de prova. Para isso, foi utilizado uma betoneira para realizar a mistura dos agregados como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Betoneira utilizada



Fonte: Autor (2017).

No concreto dosado com o traço de referência, foi feito o *slump test*. Como descrito na ABNT NBR NM 67/1998, este ensaio consiste em colocar uma massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes e depois retirar o molde lentamente, levantando-o verticalmente e medimos a diferença entre a altura do molde e a altura da massa de concreto depois de assentada, como mostra a Figura 11.

Todos os 3 tipos de traço receberam o mesmo procedimento e também foram vibradas com o auxílio de um aparelho vibrador para evitar que a mistura fique porosa e desuniforme, influenciando diretamente na durabilidade e resistência. O adensamento dá ainda, ao concreto, mais aderência e densidade, diminui a variação de volume e, por tanto, evita o aparecimento de rachaduras e influenciando na qualidade final do produto, entre outras vantagens. A Figura 12 mostra o aparelho utilizado na pesquisa.

Figura 11 – Molde do tronco de cone com medida do abatimento



Fonte: Autor (2017).

Figura 12 – Aparelho vibrador utilizado



Fonte: Autor (2017).

Conforme a ABNT NBR 5738/2015, os moldes utilizados foram revestidos internamente com óleo e foram preenchidos utilizando uma concha de seção U, onde foram desferidos 12 golpes utilizando uma haste de compactação para duas camadas nos moldes cilíndricos. A norma ainda cita que para corpos de prova prismáticos, a razão entre a largura do molde e o diâmetro ou o lado externo do elemento vibrante não pode ser menor que 3. O vibrador deve ser colocado na direção perpendicular à superfície do corpo de prova, distantes entre si para evitar vibrações no meio.

A Figura 13 mostra todos os corpos de prova colocados horizontalmente para serem submetidos a uma cura inicial de 24 horas. Posteriormente, eles foram desmoldados, identificados e armazenados no tanque à uma temperatura de 23°C de acordo com a ABNT NBR 5738/2015. Os corpos de prova armazenados podem ser observados na Figura 14 abaixo.

Figura 13 – Corpos de prova submetidos a cura inicial de 24 horas



Fonte: Autor (2017).

Figura 14 – Corpos de prova armazenados no tanque



Fonte: Autor (2017).

Após os 28 dias, os corpos de prova foram retirados do tanque. Os cilíndricos foram submetidos ao processo de retificação por uma máquina retificadora. De acordo com a ABNT NBR 5738/2015, a retificação deve ser feita para remover a rugosidade do topo do material, deixando a superfície lisa, livre de ondulações e abaulamentos. A Figura 15 mostra o processo de retificação sendo realizado.

Figura 15 – Retificação dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor (2017).

Para os corpos de prova prismáticos, foram traçadas linhas para facilitar a centralização do corpo de prova no aparelho ao qual serão ensaiados, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 – Marcação das linhas nos corpos de prova prismáticos



Fonte: Autor (2017).

3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão

De acordo com a ABNT NBR 12142:2010, os ensaios de corpos de provas prismáticos são de seção regular com 150 mm de largura, 150 mm de altura e comprimento de 500 mm. São suportados por dois apoios onde são aplicadas duas forças iguais nos terços intermediários do vão. Os prismas foram colocados no seu lado maior, paralelo ao eixo longitudinal, sobre os apoios e centralizado.

A máquina utilizada era da marca EMIC, modelo PCE 100C e os apoios estavam a 45cm de distância entre si. A Figura 17 mostra o equipamento utilizado para a realização do ensaio e a Figura 18 mostra o posicionamento do corpo de prova prismático no equipamento.

Figura 17 – Equipamento EMIC, modelo PCE 100C



Fonte: Autor (2017).

Figura 18 – Corpo de prova prismático posicionado no equipamento



Fonte: Autor (2017).

Depois de posicionados os corpos de prova, foram aplicadas forças nas peças gradativamente até ocorrer o fissuramento e rompimento dos CPs. A linha de ruptura ocorreu no centro do prisma em todas as amostras. Foram ensaiados na seguinte sequência: 2 corpos de prova de referência, 2 corpos de prova com 0,1% de fibras poliméricas, 2 corpos de prova com 0,1% de fibras de coco, totalizando 6 CPs ensaiados. A Equação 1 abaixo foi utilizada para o cálculo da resistência a tração na flexão.

$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (1)$$

Onde:

$f_{ct,f}$ = resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

F = força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

l = dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b = largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d = altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

3.6 Ensaio de resistência à compressão

De acordo com a ABNT NBR 5739:2007, os corpos de prova cilíndrico foram colocados no centro do equipamento de modo que seus eixos se igualem e a resultante das foras passe pelo centro. Foram colocados 2 pratos de aço para comportar os corpos de prova cilíndricos, como mostra a Figura 19. Foram utilizados 6 corpos de prova de referencia, 6 corpos de prova com 0,1% de fibra polimérica e 6 corpos de prova com 0,1% de fibra de coco. Todos os CPs tinham dimensões de 100mm de diâmetro 200 mm de altura.

Figura 19 – Corpo de prova cilíndrico posicionado no equipamento



Fonte: Autor (2017).

A Equação 2 abaixo foi utilizada para o cálculo da resistência a tração na flexão.

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

Onde:

f_c = resistência à tração na compressão, expressa em megapascals (MPa);

F = força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

D = é o diâmetro do corpo de prova em milímetros (mm)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os valores obtidos nesta pesquisa foram realizadas através do software chamado TESC, que é um programa de automação de ensaios desenvolvido para permitir a sistematização dos ensaios, através da elaboração e aplicação de métodos de ensaio, conferindo a consistência dos resultados.

4.1 Resistência à compressão

Nos ensaios de resistência à compressão, as médias obtidas entre os 3 traços foram bem próximos, o que já era esperado já que as fibras só trabalham no estado pós-fissurado. Podemos observar que a amostra de referencia 3, observada na Tabela 4, apresentou um valor de resistência muito menor que os demais, ocorrendo uma discrepância na média obtida. Isso possivelmente se deve ao fato da amostra possuir muitos vazios ocasionado pela vibração incorreta no processo de moldagem. Com isso, foi descartado esta amostra e calculado uma nova média utilizando apenas os 5 outros corpos de prova.

Tabela 4 – Resultado da resistência à compressão para os CPs de referência.

CP	Área (mm ²)	Força Máxima (N)	Resistência à compressão (MPa)
Ref 1	7853,98	177745,09	22,63
Ref 2	7853,98	203587,36	25,92
Ref 3	7853,98	138572,7	17,64
Ref 4	7853,98	173412,81	22,08
Ref 5	7853,98	181865,31	23,16
Ref 6	7853,98	195619,58	24,91
Média			22,72333333
Média Alterada			23,74

Fonte: Autor (2017).

Observa-se que as amostras com fibras poliméricas e de coco, observadas na Tabela 5 e Tabela 6 respectivamente, apresentam uma resistência maior se comparadas com o concreto sem fibras. Houve um aumento de 2% de resistência à compressão com aplicação das fibras poliméricas e 9% com as fibras de coco. Segundo Freire (2003), a adição de fibras não influencia significativamente na resistência à compressão, porém, como as fibras funcionam como meio de transferência de tensões pelas fissuras, o concreto melhorará sua tenacidade na compressão. Para melhor visualização foi elaborado o Gráfico 1.

Tabela 5 – Resultado da resistência à compressão para os CPs com fibras poliméricas.

CP	Área (mm ²)	Força Máxima (N)	Resistência à compressão (MPa)
Pol 1	7853,98	162112,5	20,64
Pol 2	7853,98	207949,95	26,48
Pol 3	7853,98	219553,22	25,67
Pol 4	7853,98	198982,41	22,41
Pol 5	7853,98	189469,55	24,42
Pol 6	7853,98	206404,86	26,28
Média			24,31666667

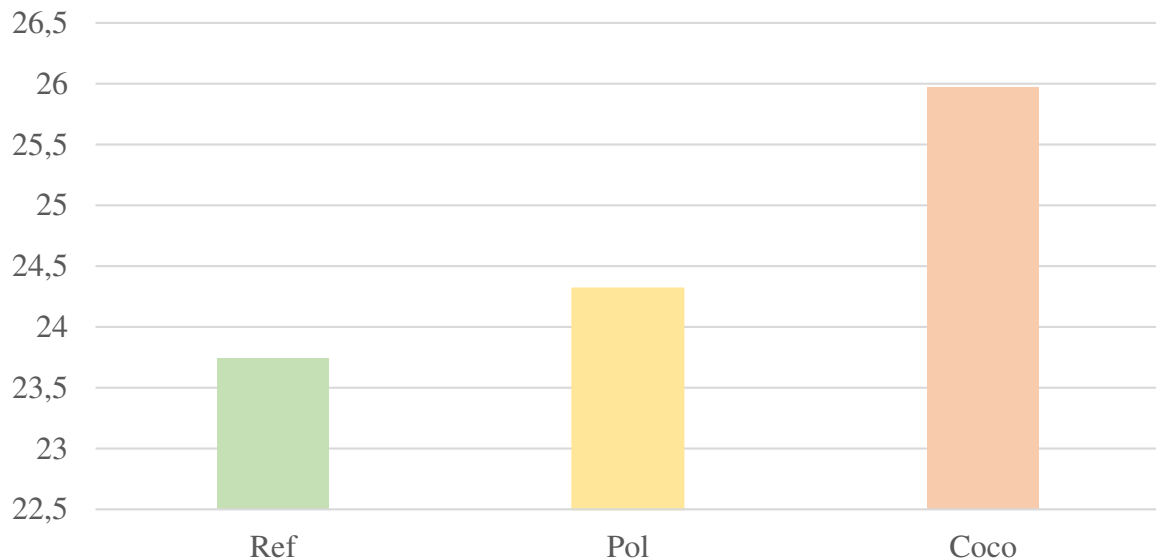
Fonte: Autor (2017).

Tabela 6 – Resultado da resistência à compressão para os CPs com fibras de coco.

CP	Área (mm ²)	Força Máxima (N)	Resistência à compressão (MPa)
Coco 1	7853,98	219613,81	27,96
Coco 2	7853,98	208464,97	26,54
Coco 3	7853,98	201587,84	27,95
Coco 4	7853,98	175987,94	25,34
Coco 5	7853,98	191772,02	24,12
Coco 6	7853,98	187924,47	23,93
Média			25,97333333

Fonte: Autor (2017).

Gráfico 1 – Comportamento dos traços quanto à compressão.



Fonte: Autor (2017).

4.2 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à flexão na tração satisfazem à expectativa original de que os corpos de provas com fibras atingissem maior resistência se comparadas aos de referência, como mostra a Tabela 7. As fibras poliméricas e fibras de coco alcançaram valores bem próximos, como pode ser observado na Tabela 8 e Tabela 9 respectivamente. Percebe-se que houve um aumento de 17% de resistência à tração com a aplicação das fibras poliméricas e 15% com a aplicação das fibras de coco, como pode ser observado no Gráfico 2.

A Figura 20 mostra o prisma de referência sendo rompido no meio da seção. O mesmo pode ser observado na Figura 21 e Figura 22 com o acréscimo das fibras poliméricas e de coco respectivamente.

Tabela 7 – Resultado da resistência à tração para os CPs de referência.

CP	Área (mm)	Força Máxima (N)	Resistência à tração (MPa)
Ref 1	3848,45	27599,42	3,679922667
Ref 2	3848,45	28387,11	3,784948
Média			3,732435333

Fonte: Autor (2017).

Tabela 8 – Resultado da resistência à compressão para os CPs com fibras poliméricas.

CP	Área (mm)	Força Máxima (N)	Resistência à tração (MPa)
Pol 1	3848,45	35446,02	4,726136
Pol 2	3848,45	30235,15	4,031353333
Média			4,378744667

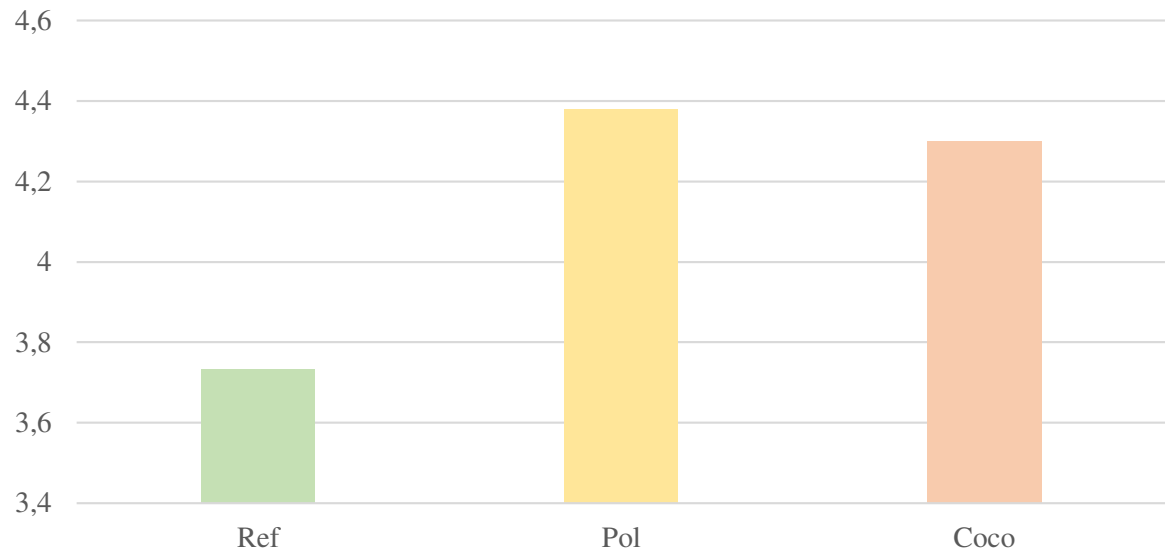
Fonte: Autor (2017).

Tabela 9 – Resultado da resistência à compressão para os CPs com fibras de coco.

CP	Área (mm)	Força Máxima (N)	Resistência à tração (MPa)
Coco 1	3848,45	31114,02	4,148536
Coco 2	3848,45	33385,9	4,451453333
Média			4,299994667

Fonte: Autor (2017).

Gráfico 2 – Comportamento dos traços quanto à tração.



Fonte: Autor (2017).

Figura 20 – Corpo de prova prismático de referência rompido.



Fonte: Autor (2017).

Figura 21 – Corpo de prova prismático com fibras poliméricas rompido.



Fonte: Autor (2017).

Figura 22 – Corpo de prova prismático com fibras de coco rompido.



Fonte: Autor (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados, conclui-se que os traços com fibras, de maneira geral, obtiveram um melhor desempenho, o que já era esperado. Os resultados do ensaio de resistência à compressão confirmaram o que consta na literatura, que diz que os valores de resistência à compressão não são muito influenciados pela adição de fibras. Já nos ensaios de resistência à tração, observou-se um aumento significativo de mais de 10% para a quantidade de fibras utilizadas e para o traço escolhido.

Com base nos resultados expostos, podemos dizer que traços com as fibras utilizadas são uma alternativa viável para melhorar as propriedades do concreto. As fibras de coco aplicadas em peças de concreto são uma excelente alternativa para dar destinação adequada a este resíduo realizando uma construção mais sustentável, diminuindo a sobrecarga nos aterros sanitários.

Como proposta para trabalhos futuros, propõe-se uma expansão mais detalhada da pesquisa, como por exemplo, utilização de quantidades variáveis de fibra para observar o comportamento delas e adotar uma quantidade ideal para encontrar o teor ótimo de fibras. Elaborar ensaios de tenacidade, absorção e abrasão para obter dados mais detalhados de sua viabilidade ou outros testes que possam ser sugeridos. Se possível, abordar questão de custos com relação a outros tipos de fibras.

REFERÊNCIAS

ABCP. **Pavimento Intertravado alia durabilidade e estética**. 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, Brasil, ABNT, 2004.

_____. **NBR 12.142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto - execução. Rio de Janeiro, Brasil, ABNT, 2011.

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

CRUZ, L. M. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CUENCA, M. A. G. **Importância Econômica do Coqueiro**. In FERREIRA, Joana Maria et al. **A Cultura do Coqueiro no Brasil**. São Paulo: Embrapa, 2002.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers**: Produção e Controle de Qualidade. Ribeirão Preto: Ed. Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2016.

FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA.; L.A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 292 p.

FIGUEIREDO, A.D.; CECCATO, M.R. e TORNERI, P. **Influência do comprimento da fibra no desempenho do concreto reforçado com fibras de aço**. 39ª REIBRAC. Instituto Brasileiro do Concreto. São Paulo, 1997.

FIGUEIREDO, A. D. **Dosagem e Controle do Concreto Projetado com Fibras**. In: Simpósio Tendência da Engenharia Estrutural Empregando Concreto de Alto Desempenho e Concreto Reforçado com Fibras. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Anais. São Paulo, 1999a.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**, 2007.

FREIRE, W. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Beraldo, A.(coord.). Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

JUNIOR, I. J. A. **Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas – Estudo de Caso Guaiúba, CE**. 2007, 221 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MARTINHO, M.G. e GONÇALVES, M.G - **Manual de Gestão de Resíduos**. Universidade Aberta, 2000.

MATHAI. P. M. Coir. In: FRANCK, R. R. Bastando ther plant fibers. The Textile Institute. Cambridge: Wood head Publishing Limited, 2005. p. 275-313.

MAIDL, B. Stahlfaserbeton. Berlin. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1991.

PAVER. **Empresa HiperBlock**, Curitiba, 2012.

SENHORAS, E. **Estratégia de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco**. Campinas: Ed. ESC, 2003.

SILVA, MARQUES, JUNIOR, FORNARI. - **Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias**. PIBIC - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Bahia, 2012.