



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE FIBRAS DE COCO EM MISTURAS
ASFÁLTICAS DO TIPO SMA**

JORGE HENRIQUE LIMA REIS

Orientador: Prof^o Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena

Campina Grande - PB

2018

JORGE HENRIQUE LIMA REIS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE FIBRAS DE COCO EM MISTURAS
ASFÁLTICAS DO TIPO SMA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Campina Grande como requisito
obrigatório para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena

Campina Grande - PB

2018

JORGE HENRIQUE LIMA REIS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE FIBRAS DE COCO EM MISTURAS
ASFÁLTICAS DO TIPO SMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito obrigatório para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Profº Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 15 / 03 / 2018

BANCA EXAMINADORA

(Assinatura): _____

Profº Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena

(Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Assinatura): _____

Profº M. Sc. Paulo Germano Tavares Marinho Filho

(Examinador Interno)

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

(Assinatura): _____

M. Sc. Jeovanesa Régis Carvalho

(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Primeiramente dedico a Deus pois sem Ele não estaria aqui.

Aos meus pais, Jair e Marlene, que sempre se esforçaram para me proporcionar o melhor que estivesse aos seus alcances. Muito obrigado por toda a dedicação a mim!

Ao meu irmão, Krol, que sempre esteve presente, me apoiando nesta caminhada.

A minha namorada, Laísa, que como companheira fiel, sempre me motivou a buscar os meus sonhos e que me ajudou a superar todos os obstáculos.

Aos amigos que sempre me ajudaram quando precisei.

Dedico também ao meu avô, Raimundo Reis, o qual eu carrego o nome e me orgulho de ser o seu neto!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me agraciar com o dom da vida e me guiar até aqui, sempre presente nas dificuldades e vitórias.

Aos meus pais, pela paciência e dedicação todo este tempo e pela formação que me deram, sendo eles os contribuintes diretos deste momento.

Ao meu grande irmão, que sempre atencioso e disposto a ajudar nessa empreitada, muito obrigado!

Aos amigos que fiz durante este trabalho e que me acompanharam nessa pesquisa: Diogo e Dimas, obrigado por serem tão prestativos, pelos momentos de descontração e por ajudarem a tornar essa pesquisa possível. Rebecca, que participou por pouco tempo, mas que também deu o seu contributo e em especial a Daniel, não só pelo bom convívio e descontração, mas também por me auxiliar até aqui, sempre presente e paciente em me repassar um pouco de seu conhecimento.

Ao meu orientador, Adriano, por ter aceito o pedido de orientação, pela atenção e disposição em ajudar nessa pesquisa e também por todo conhecimento repassado como professor.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia de Pavimentos, Ildinho e Jadilson e demais funcionários, pela ajuda e bom convívio.

Aos professores, que todos, sem exceção, contribuíram com seus ensinamentos.

A todos os amigos, pela contribuição direta ou indiretamente, até com as mínimas das coisas.

RESUMO

A variabilidade das condições de clima, solo e tráfego aliada a novas tecnologias e conhecimentos fez com que a engenharia desenvolvesse uma gama de misturas asfálticas para melhor servir as solicitações impostas. Uma dessas misturas é a *Stone Matrix Asphalt*, (SMA), tema deste trabalho. Esta é uma mistura de graduação aberta e descontínua, que requer um teor de Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP superior ao que é geralmente utilizado nas misturas convencionais. O alto teor de CAP faz com que ocorra o escorrimento do mesmo na mistura, sendo então sugerido o uso de fibras como aditivo estabilizador. As fibras podem ser naturais ou sintéticas, porém, com a crescente preocupação com a questão da sustentabilidade, o uso de fibras de coco aparece como uma alternativa, pelo fato de o Brasil ser o 4º maior produtor de coco do mundo. Neste trabalho foram feitas avaliações de escorrimento e das propriedades mecânicas de misturas SMA sem e com a adição de fibra de coco. Os ensaios mecânicos realizados foram: resistência a tração, módulo de resiliência e estabilidade Marshall, alterando o teor da fibra utilizada entre 0,1% e 0,3% e mantendo um comprimento de 10 mm. Analisando os resultados, pôde-se notar que o uso de fibras se mostrou eficaz melhorando o desempenho da mistura em todos os ensaios realizados. Em geral pode-se concluir que para os materiais utilizados, a dosagem Marshall realizada com o teor de fibra de 0,3% com 10 mm de comprimento foi o que apresentou os melhores resultados. Desta maneira, a utilização da fibra de coco em misturas asfálticas do tipo SMA foi experimentalmente aprovada e torna-se uma alternativa de destinação final deste tipo de resíduo.

Palavras-chave: *Escorrimento, SMA, fibra de coco*

ABSTRACT

The variability of weather conditions, soil and traffic coupled with new technologies and expertise has led the engineering to develop a range of asphalt mixtures to better serve the imposed demands. One of these mixtures is the Stone Matrix Asphalt (SMA), the subject of this work. This is an open and discontinuous mixture, which requires a content of CAP higher than which is generally used in conventional mixtures. The high content of CAP causes the runoff of the CAP from the mixture and the use of fibers as stabilizing additive is suggested. The fibers may be natural or synthetic, however, with growing concern about sustainability, the use of coconut appears as an alternative. In this work, runoff evaluations and mechanical properties of SMA mixtures were done without and with the addition of fiber from coconut. The mechanical tests carried out were: tensile strength, modulus of resilience and Marshall stability, altering the content of the fiber used between 0.1% and 0.3%, and maintaining a 10 mm fiber length. Analyzing the results, it was noted that the use of fibers proved effective in improving the performance of the mixture in all the tests performed. In general, we can conclude that for the materials used, the Marshall design method performed with the fiber content of 0.3% was the one that presented the best results. In this way, the use of coconut fiber in asphalt mixtures of the type SMA was experimentally approved and becomes an alternative of final destination for this type of residue.

Key-words: *Runoff, SMA, coconut fiber*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Misturas Asfálticas à Quente.....	15
2.2. Mistura Asfáltica SMA	17
2.2.1. Histórico	17
2.2.2. Propriedades do SMA.....	18
2.2.3. Utilização de Fibras em misturas SMA.....	21
2.3. Fibras de Coco	23
2.3.1. Visão Geral.....	23
2.3.2. Características dos Coqueiros.....	25
2.3.3. Características das Fibras de Coco	26
2.3.4. Vantagens na Utilização das Fibras de Coco.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1. Materiais.....	29
3.1.1. Agregados Graúdos	29
3.1.2. Agregado Miúdo.....	30
3.1.3. Material de Enchimento (Fíler)	30
3.1.4. Ligante Asfáltico (CAP).....	31
3.1.5. Fibras de Coco	31
3.2. Métodos	33
3.2.1. Caracterização dos Agregados.....	33
3.2.2. Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)	38

3.2.3. Caracterização Mecânica	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1. Ensaio de Escorrimento	49
4.2. Estabilidade Marshall	51
4.3. Resistência à Tração (RT)	52
4.4. Módulo de Resiliência	53
5. CONCLUSÕES	55
5.1. Sugestões para Pesquisas Futuras	56
6. REFERÊNCIAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de curvas granulométricas das diferentes misturas asfálticas a quente (BERNUCCI, 2007)	16
Figura 2: Composições granulométricas das misturas a quente. (BERNUCCI, 2007)	16
Figura 3: Textura em pista do SMA, BR - 277, Paraná. (EL-HAGE, 2012)	18
Figura 4: Composição do SMA (MOURÃO, 2007)	19
Figura 5: Fibra de celulose sem ligante (A) e a impregnada com ligante (B) (BERNUCCI, 2007).....	22
Figura 6: Coqueiro Anão e Coqueiro Alto (ARAGÃO, 2002)	26
Figura 7: Corte Longitudinal do coco (ROSA, 2002).....	26
Figura 8: Brita 19,5mm	29
Figura 9: Brita 9,5mm	30
Figura 10: Pó de pedra	30
Figura 11: Cal hidratada.....	30
Figura 12: CAP 50/70	31
Figura 13: Fibra de Coco.....	32
Figura 14: Fluxograma da Pesquisa	33
Figura 15: Curva de distribuição granulométrica dos agregados.....	35
Figura 16: Amostras imersas em temperatura ambiente	36
Figura 17: Amostra de agregado miúdo durante secagem	37
Figura 18: Ensaio de Ponto de Amolecimento.....	39
Figura 19: Modelo de um viscosímetro rotacional – LEP/UFCG.....	40
Figura 20: Gráfico de Viscosidade x Temperatura	41
Figura 21: Equipamento Utilizado para compactação Marshall	42
Figura 22: Curva Fuller	43
Figura 23: Teor de asfalto vs Vv	44
Figura 24: Teor de asfalto vs VAM	45
Figura 25: Ensaio de Escorrimento	46
Figura 26: Prensa utilizada para os Ensaios de Estabilidade Marshall e Resistência a Tração	47
Figura 27: Equipamento utilizado para o ensaio de modulo de resiliência – LEP/UFCG.....	48
Figura 28: Escorrimento da mistura sem adição da fibra à 150°C e 165°C, respectivamente	49
Figura 29: Escorrimento da mistura com 0,1% de fibra à 150°C e 165°C, respectivamente .	50

Figura 30: Escorrimento da mistura com 0,3% de fibra à 150°C e 165°C, respectivamente	.50
Figura 31: Resultado da Estabilidade Marshall	52
Figura 32: Resultados do ensaio de Resistência à Tração.....	53
Figura 33: Resultados do ensaio de módulo de resiliência	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção e área colhida dos principais produtores de coco, em 2012 (Fonte: FAO 2014).....	24
Tabela 2: Ensaio de Caracterização dos Materiais	33
Tabela 3: Distribuição granulométrica por peneiramento dos agregados	34
Tabela 4: Valores de massa específica dos agregados graúdos.....	36
Tabela 5: Valor da massa específica do agregado miúdo	38
Tabela 6: Ensaio de caracterização do ligante asfáltico.....	38
Tabela 7: Valores do ensaio de Viscosidade Rotacional.....	41
Tabela 8: Proporção dos agregados para determinação do teor ótimo de CAP	43
Tabela 9: Resultados das especificações verificados por NAPA (1999)	44
Tabela 10: Quantidades dos materiais componentes da mistura asfáltica.....	45
Tabela 11: Resultados do Ensaio de Escorrimento	49
Tabela 12: Resultados do Ensaio de Estabilidade Marshall.....	51
Tabela 13: Resultados do ensaio de Resistência à Tração	52
Tabela 14: Resultados do Ensaio de Módulo de Resiliência.....	53

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte são elementos de suma importância na vida econômica e social dos países, proporcionando deslocamentos de cargas e passageiros em diversos modos de transporte. Dentre os elementos componentes do Sistema de Transporte Brasileiro, a infraestrutura viária é o fator limitante ao desenvolvimento do setor, uma vez que suas características contribuem diretamente para as condições de eficiência operacional, além da forte propensão do sistema viário brasileiro ao uso do modal rodoviário. Portanto, em um país em que 61,1% das cargas e 95% dos passageiros são transportados por via rodoviária, segundo CNT (2016), enfatiza-se a importância da infraestrutura das estradas na mobilidade dos sistemas de transporte.

Com o aumento do volume de tráfego e da carga dos veículos nas rodovias, é de fundamental importância que o pavimento atenda aos requisitos de alta durabilidade e segurança, gerando tranquilidade e conforto ao usuário. Outro fator a se considerar é a relação custo-benefício, que exerce extrema influência na escolha do revestimento asfáltico, pelo fato de que a opção por uma alternativa de alta durabilidade reduz os custos de manutenção e de operação das vias durante o tempo de serviço (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Tendo em vista a obtenção de um revestimento asfáltico mais resistente e durável, que pudesse evitar ao máximo a ocorrência de trincas por fadiga, além de deformações permanentes, vários países desenvolvidos estão usando as misturas asfálticas “Stone Matrix Asphalt” ou SMA.

A mistura asfáltica SMA é uma mistura a quente com graduação descontínua e densa, com uma grande proporção de agregado graúdo. Tal mistura tem a finalidade de maximizar o contato entre os agregados minerais graúdos, aumentando assim a interação entre os grãos e gerando uma mistura asfáltica de elevada resistência, estável e de excelente durabilidade (BERNUCCI *et al.*, 2007). Pelo fato de esta mistura ter uma maior concentração de ligante asfáltico e graduação descontínua, isso a torna uma mistura asfáltica mais fluida e tal característica promove o fenômeno de segregação do ligante e agregados. Afim de combater tal fenômeno, é necessário a adição de fibras à massa asfáltica.

Diversos outros estudos relatam o sucesso da incorporação de fibras orgânicas em misturas asfálticas SMA pois as fibras são usadas como estabilizadores na mistura SMA para evitar o escorrimento, devido à alta porcentagem de ligante asfáltico. As mais utilizadas são as de celulose que são industrializadas, apresentando assim um custo mais elevado. A fim de se obter custos mais baixos, buscam-se alternativas como reaproveitamento da renda de bananeira, sisal, bagaço de cana, ou seja, fibras naturais. A utilização das fibras naturais como reforço tem conquistado a atenção da comunidade científica e das indústrias, como alternativa às fibras inorgânicas, apresentando vantagens como grande abundância e baixa massa específica (GOMES *et al.* 2013).

O presente trabalho visa analisar a aplicabilidade da incorporação de fibras de coco, devido à sua abundância em nosso país, em misturas do tipo SMA como uma alternativa natural à incorporação de fibras de celulose no combate à exsudações e escorrimentos. Outro fator preponderante para a importância deste estudo, é o destino final do material de descarte, considerado como lixo e que gera um sério problema ambiental nas grandes cidades por ser um material de difícil decomposição levando de 8 a 10 anos para se decompor (EMBRAPA, 2007).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência da incorporação de fibras de coco no comportamento de misturas asfálticas do tipo SMA.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Testar em laboratório a viabilidade do uso de fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA, para identificar sua eficácia no combate ao fenômeno de escorrimento;
- Determinar o teor ótimo de fibra na mistura que influencie diretamente a aplicação da mesma como agente redutor de escorrimento;
- Propor a fibra de coco como uma alternativa orgânica viável e de fácil obtenção à fibras artificiais comumente usadas no combate ao escorrimento de misturas asfálticas do tipo SMA.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Misturas Asfálticas à Quente

As misturas asfálticas tanto podem ser fabricadas em usinas estacionárias, misturadas a quente ou a frio, como em usinas móveis. Além disso é possível a fabricação de asfalto na própria pista.

Mistura asfáltica usinada à quente é a combinação dos agregados aquecidos e misturados com um CAP submetido a temperaturas entre 150°C e 180°C. Dividem-se em vários tipos de acordo com o padrão granulométrico empregado e as exigências de características mecânicas, em função da aplicação a que se destinam (BERNUCCI *et al.* 2007).

Segundo Bernucci (2007) as misturas asfálticas a quente podem ser subdivididas pela graduação dos agregados e fíler, sendo destacados três tipos mais usuais:

- Graduação densa: possui uma curva granulométrica contínua e bem graduada proporcionando uma composição com poucos vazios. Como exemplo temos o concreto asfáltico (CA) que é a mistura a quente mais utilizada no Brasil, porém suas propriedades são sensíveis às variações de ligante asfáltico na mistura.
- Graduação aberta: apresenta curva granulométrica uniforme com agregados aproximadamente do mesmo tamanho. Consequentemente possui uma quantidade considerável de vazios. Este tipo de revestimento é classificado como drenante, já que permite a percolação de água em seu interior, e é comumente utilizado em regiões com alta incidência de chuvas. Este é conhecido no Brasil por Camada Porosa de Atrito (CPA).
- Graduação descontínua: tem uma curva granulométrica com dominância de grãos maiores em relação aos de dimensões intermediárias e completada por material fino, gerando uma curva descontínua. O resultado desta granulometria é o maior contato dos agregados graúdos, proporcionando maior resistência à deformação permanente, e.g. SMA.

Na Figura 1 é possível observar a diferença das curvas granulométricas da SMA – faixa 0/11S alemã (mistura de graduação descontínua), do CBUQ – Faixa B do DNIT (mistura de graduação densa) e da CPA – faixa II do DNIT (mistura de graduação aberta), e. A Figura 2 apresenta as diferentes graduações de misturas a quente: aberta (Figura 2.a), descontínua (Figura 2.b) e densa (Figura 2.c).

Figura 1: Exemplos de curvas granulométricas das diferentes misturas asfálticas a quente (BERNUCCI, 2007)

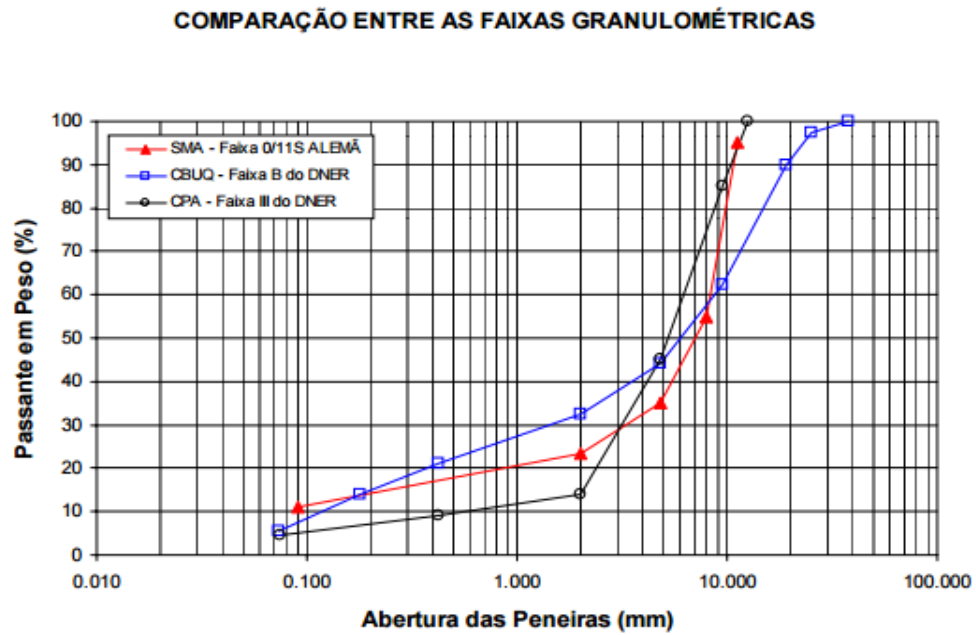


Figura 2: Composições granulométricas das misturas a quente. (BERNUCCI, 2007)



(a)

(b)

(c)

2.2. Mistura Asfáltica SMA

2.2.1. Histórico

Segundo MOURÃO (2007) entre 1960 e 1968 o Ministério de Transportes da Alemanha procurou por soluções para o problema do desgaste do pavimento devido ao uso de pregos em pneus durante o inverno, para garantir a estabilidade do carro na pista nevada. Primeiramente foi sugerido um tratamento com um mástique asfáltico composto de 40 a 50% de sua composição de areia com graduação de até 2mm, 30 a 35% de filer e 25% de betume. Esse mástique apresentava boa resistência ao desgaste, porém como sua aplicação era feita manualmente, ocorria a limitação de sua capacidade de uso e produzia uma camada não homogênea. Uma solução posterior foi a mistura SMA, contendo 75% de agregados graúdos de 5 a 8mm, 15% de areia até 2mm, 10% de filer e 7% de CAP com o uso adicional de fibras como material estabilizante, já que a mistura apresentava um alto grau de escorrimto.

El-Hage (2012) destaca que em 1970 o governo alemão proibiu o uso de pregos e com isso o uso das misturas SMA foi reduzido já que não se via mais a necessidade de usá-la devido a seu alto custo. Em 1980 foi retomado o uso desta mistura na Europa, devido à deformação permanente causada principalmente pela alta pressão de inflação dos pneus.

Atualmente a mistura SMA é difundida pelo mundo e os estudos continuam principalmente no emprego de fibras alternativas na mistura, já que existe diversidade de disponibilidade de materiais em cada local. EAPA (2001) *apud* MOURÃO (2007) cita que desde 1968 foram pavimentados 200 milhões de m² somente na Alemanha.

No Brasil, pioneiramente foi construída a pista do autódromo de Interlagos em São Paulo em fevereiro de 2000 empregando mistura SMA (BERNUCCI, 2003). Após isso o SMA foi empregado em trechos de rodovias em São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador. Estas aplicações geralmente são feitas por concessionárias de vias como, por exemplo, a Ecovia, Centrovias e Colinas, que atuam no estado de São Paulo e empregaram o SMA em seus respectivos trechos. O uso do SMA pelas concessionárias pode-se explicar pelo fato de que o custo de manutenção da pista é reduzido, pois esta mistura é mais resistente e durável, e pode-se evitar ao máximo a ocorrência de trincas por fadiga, além de deformações permanentes (BERNUCCI *et al.*, 2007).

A figura 3 ilustra a aplicação de SMA no trecho da BR-277 que atravessa o Paraná.

Figura 3: Textura em pista do SMA, BR - 277, Paraná. (EL-HAGE, 2012)

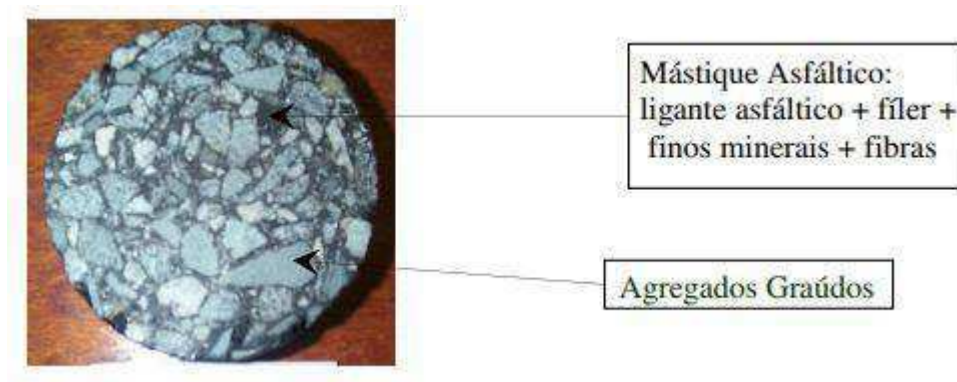


2.2.2. Propriedades do SMA

A mistura asfáltica SMA é caracterizada pelo elevado conteúdo de agregado que forma o esqueleto mineral. Os vazios no esqueleto mineral são preenchidos por um mástique betuminoso de elevada viscosidade, um tipo de material composto por ligante betuminoso modificado ou não por polímeros, fíler (natural ou artificial), finos minerais (fração areia) e fibras naturais (minerais ou orgânicas). O elevado conteúdo de agregado graúdo, de pelo menos 70%, assegura o contato entre os grãos após a compactação. A rigidez necessária para o mástique é alcançada por meio da adição da fração britada (HORST, 2000).

O SMA é uma mistura flexível, estável, resistente à afundamentos de trilha de roda que tem no contato entre grãos o responsável por sua resistência, e no mástique a durabilidade da mistura (NAPA, 2002). A granulometria de uma mistura asfáltica tipo SMA é caracterizada por conter uma elevada porcentagem de agregados graúdos (70– 80% retido na peneira nº.10) e formar um grande volume de vazios entre estes que será preenchido pelo mástique asfáltico. Esta elevada porcentagem de agregados graúdos faz com que a mistura tenha excelente desempenho mecânico (Figura 4).

Figura 4: Composição do SMA (MOURÃO, 2007)



O mástique asfáltico é o responsável pela elevada coesão da mistura, e sua elevada porcentagem faz com que a mistura apresente baixo índice de vazios, retardando o processo de oxidação e aumentando a resistência da mistura pelo envolvimento e intertravamento dos agregados minerais.

O SMA é utilizado como camada de rolamento numa espessura variando de 1,5 a 4,0cm em função do diâmetro máximo do agregado mineral utilizado na composição da mistura. Não é recomendada a utilização do SMA em espessuras muito superiores a 4,0cm, em decorrência de possibilidade de deformações permanentes, ou seja, maior probabilidade de formação de afundamentos de trilha de roda. No decorrer dos anos o SMA vem sendo utilizado como alternativa para revitalização de superfícies deterioradas. Para pavimentos que apresentam uma elevada capacidade estrutural, o SMA é empregado visando uma melhoria do desempenho funcional (conforto e segurança aos usuários) (BELIGNI, 2000).

Ao se escolher uma granulometria diferenciada para a mistura SMA, em relação ao CBUQ tradicional, pretende-se que a maior porcentagem de agregados graúdos forme uma estrutura compacta e entrelaçada que contribua para dissipar o carregamento do tráfego. Este é um dos motivos pelo qual o SMA é tão resistente ao desgaste e à deformação permanente (MOURÃO, 2007).

A principal diferença entre a mistura asfáltica SMA e o CBUQ é a descontinuidade da curva granulométrica, que proporciona ao SMA um maior volume de vazios no agregado mineral (VAM). O aspecto rugoso da camada porosa de atrito (CPA) se assemelha ao da mistura asfáltica SMA, bem como a formação do esqueleto mineral que dá resistência à mistura.

Do ponto de vista volumétrico, os agregados graúdos do SMA representam o resistente esqueleto mineral da estrutura, semelhante à camada porosa de atrito (CPA). A diferença básica é que a mistura CPA necessita de um menor conteúdo de mástique para preencher seus vazios, permanecendo um volume residual de vazios com ar, cerca de 20%.

A ausência de grãos médios e a alta concentração de agregados graúdos se traduzem em uma superfície mais rugosa, com uma textura mais grossa, que formam pequenos “canais” entre os agregados graúdos, aumentando a resistência ao deslizamento e a absorção de ruído, reduzindo a reflexão de luz e a aquaplanagem (MOURÃO, 2007).

Segundo Reis (2001), baseado em dados experimentais, a mistura asfáltica SMA tem se mostrado um revestimento de alto desempenho estrutural e funcional. Insucessos que ocorreram em alguns casos estão relacionados, em geral, à falhas executivas, ligadas à segregação e à exsudação, que podem ser contornadas se houver um bom controle dos agregados e da faixa de projeto, dosagem apropriada do teor de ligante e de fibras, e controle de temperatura de usinagem e compactação.

A exsudação do ligante em misturas asfálticas ocorre sob a forma de manchas isoladas ou em grande extensão (espelhamento) e a excessiva presença de cimento asfáltico na superfície é identificada pelo aparecimento de marcas causadas por pneus em dias quentes. Em geral, a exsudação do ligante está associada à migração do cimento asfáltico para a superfície motivada por: (i) segregação da mistura em alguns momentos de sua execução; (ii) compactação excessiva da mistura; (iii) excesso de ligante na mistura; (iv) emprego de ligante com viscosidade baixa em local com clima quente e (v) a falta de adesividade do ligante asfáltico (MOURÃO, 2007). A exsudação do ligante pode aparecer em misturas asfálticas SMA também pela falta ou distribuição não homogênea da fibra, alimentação inadequada de filer na mistura e perda excessiva de temperatura da massa asfáltica para aplicação.

A mistura asfáltica SMA tem provado ser excelente opção para vias de tráfego pesado, entre outras utilizações, como por exemplo:

- vias com alta frequência de caminhões;
- interseções;
- áreas de carregamento e descarregamento de cargas;
- rampas, pontes, paradas de ônibus e faixa de ônibus;
- pistas de aeroporto estacionamentos;

- portos;

Em resumo, a mistura SMA é aplicada satisfatoriamente onde ocorrem demasiados desgastes, sejam causados por tráfego ou por intempéries, aumentando a durabilidade do pavimento.

2.2.3. Utilização de Fibras em misturas SMA

As fibras utilizadas em misturas do tipo SMA, podem ser oriundas de celulose (orgânica), vidro (inorgânica) ou material mineral. Tem a função de evitar a segregação da mistura em seu transporte, facilitar a aplicação e evitar o escorrimento do ligante asfáltico, além de permitirem que o ligante betuminoso fique mais consistente a altas temperaturas diminuindo a formação dos afundamentos de trilha de roda, visto que o ligante betuminoso é empregado em porcentagens elevadas variando de 6,5 e 8,0% em peso nas misturas asfálticas do tipo SMA (MOURÃO, 2007).

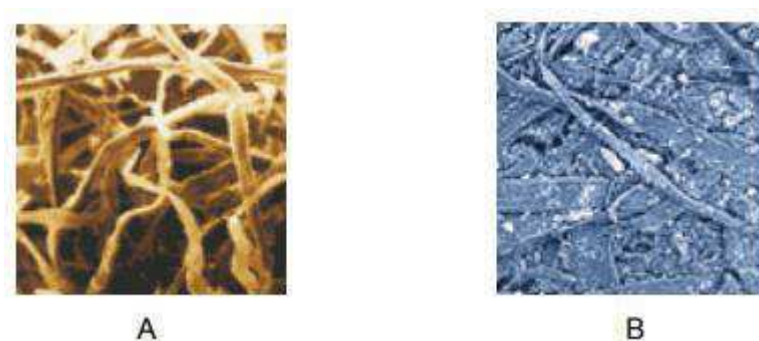
As fibras exercem a função de evitar o escorrimento do ligante betuminoso e do mástique quando da usinagem, transporte e aplicação, pelo fato de desempenharem uma ação de microarmadura (reticulado tridimensional) que em conjunto com os polímeros presentes no ligante betuminoso aumentam a coesão do sistema. Com a incorporação de parte do ligante pelas fibras podem-se formular misturas flexíveis com alta porcentagem de ligante betuminoso, sem riscos de exsudação ou perda de estabilidade mecânica. As fibras possibilitam a utilização de granulometria descontínua que aumenta a macrotextura do revestimento, melhorando as características mecânicas de drenagem superficial e aderência dos pneus ao pavimento, principalmente pela redução dos efeitos de aquaplanagem (BELIGNI et al., 2000).

A presença de fibras na mistura faz com que a mesma possa submeter-se a temperaturas altas e baixas sem perder sua eficiência e sem sofrer degradação. Esta elevada flexibilidade impede o ressecamento e a fissuração que se produz habitualmente em misturas de asfaltos comuns expostos à condição de variações climáticas (BERNUCCI, 2007).

A adição de fibra de celulose não modifica quimicamente o ligante, porém, até certo ponto, aumenta as propriedades físicas do produto final, por admitir o uso de elevado teor de ligante. E isso tende a “engrossar” o ligante para que não escorra do agregado antes da compactação (HORST, 2000).

A fibra de celulose é quimicamente inerte e resistente a ácidos diluídos e soluções alcalinas assim como totalmente inócua, do ponto de vista fisiológico e toxicológico. A fibra de celulose é mais econômica porque é produzida a partir de uma fonte renovável. A Figura 5 mostra um exemplo de fibra de celulose com e sem o ligante.

Figura 5: Fibra de celulose sem ligante (A) e a impregnada com ligante (B) (BERNUCCI, 2007)



De acordo com Mourão (2007), a experiência norte americana demonstra que as fibras tem sido adicionadas a granel diretamente no silo quente quando misturadas em usinas do tipo batelada, e em forma de “pellets” ou péletes quando em usinas do tipo “DRUM MIX”.

Com o objetivo de evitar a formação de grumos ou uma homogeneização inadequada, recomenda-se o uso de fibras de celulose em forma granular (“pellets”). Péletes consistem de 50% de fibras de celulose com 50% de ligante asfáltico, que devem ser considerados na dosagem quando a mistura receber essas fibras. Deve-se tomar cuidado para que os péletes se dissolvam completamente na mistura, evitando assim problemas na execução da camada (MOURÃO 2007).

Fibras peletizadas sem ligante não são capazes de se dispersar facilmente, devido as mesmas serem prensadas e unidas fortemente, fazendo com que elas não consigam se dispersar na mistura. Fibras peletizadas com ligante asfáltico oferecem várias vantagens sobre fibras soltas, ou as peletizadas sem ligante, como:

- dispersão rápida e completa;
- inodora e livre de pó;
- insensibilidade contra umidade;
- pode ser dosada automaticamente;

- produz mistura mais homogênea;

2.3. Fibras de Coco

2.3.1. Visão Geral

Existe até o momento um consenso sobre a proveniência do coco, situando-se em toda a faixa tropical do globo, principalmente nas regiões litorâneas. Há documentos que provam a sua existência na costa Asiática há 4000 anos. Quando os espanhóis invadiram a América em 1526, os coqueiros já se encontravam na costa do Pacífico. Alguns botânicos crêem, no entanto, que o coqueiro seja natural do continente Americano e daí fora espalhado para as outras partes do mundo, devido à facilidade das sementes serem levadas pelas correntes marinhas, uma vez que a planta se situa no litoral.

Na última década, o cultivo mundial do coqueiro registrou acréscimo na produção sem alteração substancial de área de plantio e também de colheita. De acordo com a FAO (2011), em 1998, a produção mundial foi ao redor de 49 milhões de toneladas, numa área colhida de 11,2 milhões de hectares, enquanto que, no ano de 2008 a produção foi aproximadamente de 60,7 milhões de toneladas em uma área colhida ao redor de 11,2 milhões de ha, representando um incremento de produtividade em termos globais.

Cerca de 80% da área plantada com coqueiro situa-se na Ásia (Índia, Filipinas, Indonésia, Sri Lanka e Tailândia) e o restante distribuída entre África, América Latina, Oceania e Caribe (WANDERLEY, 2010). A Indonésia é destacada como o maior produtor mundial de coco, seguido por Filipinas e Índia, entretanto, em área colhida, a Filipinas destaca-se com uma maior área cultivada (Tabela 1).

Tabela 1: Produção e área colhida dos principais produtores de coco, em 2012 (Fonte: FAO 2014)

PAÍS	ÁREA COLHIDA (Ha)	PRODUÇÃO (1.000 t)
Indonésia	3.000.000	18.000.000
Filipinas	3.573.806	15.862.386
Índia	2.132.240	10.560.000
Brasil	257.742	2.888.532
Siri Lanka	394.840	2.000.000
Vietnã	145.000	1.250.000
Tailândia	217.000	1.100.000
México	166.000	1.050.000
Papua Nova Guiné	223.000	900.000
Malásia	112.093	606.530
Outros	1.892.920	5.831.389
Mundo	12.114.141	60.048.837

É importante destacar o avanço desta cultura no Brasil: em 1990 o país ocupava a 10^o posição no ranking mundial, com uma produção ao redor das 477 mil toneladas de coco. Atualmente, o país é o quarto maior produtor mundial com uma produção aproximada de 2,8 milhões de toneladas, em uma área colhida de 287 mil ha de coqueiros. Esta condição de destaque do Brasil no cenário mundial de produção de coco se sobressai ainda mais quando se compara aos países da América do Sul, região na qual a produção brasileira é responsável por mais de 80%.

Esta posição de liderança é dada ao país pelo incremento tecnológico em quesitos como adubação, sistemas intensivo de cultivos, variedades melhorada, que propiciou aumento da produtividade e, principalmente, pelo avanço da fronteira agrícola com cultivo de coqueiros do tipo Anão e híbridos (EMBRAPA, 2010).

2.3.2. Características dos Coqueiros

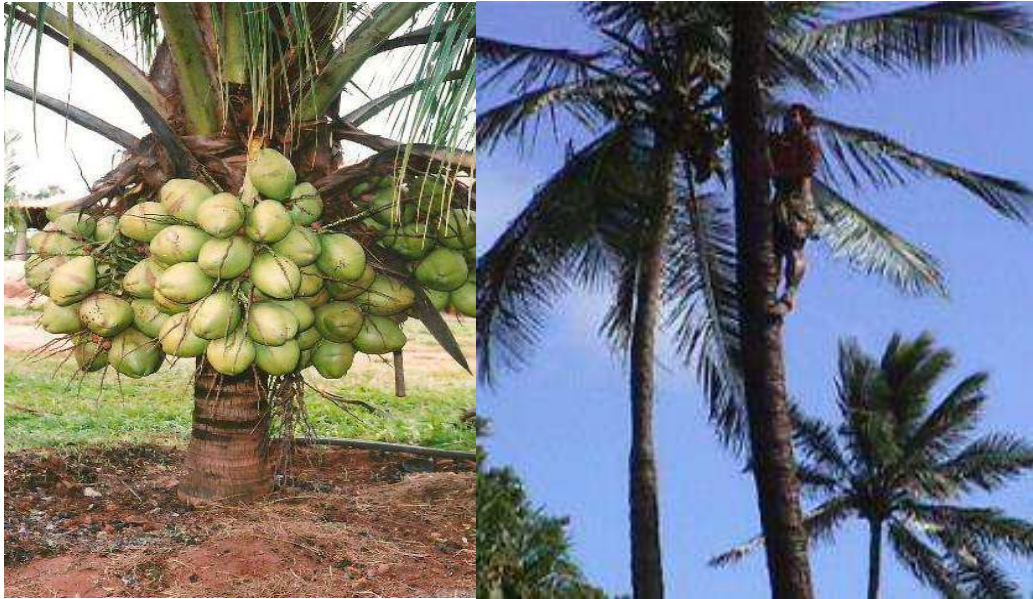
O coqueiro, *Cocos mucifera* L., é uma palmeira do gênero *Cocos*, por demais conhecida na paisagem nordestina. Existem várias espécies cultivadas no Brasil, podendo-se distinguir as espécies altas, mais comuns, que chegam a atingir 40 metros de altura, e o coqueiro-anão, uma espécie de frutificação precoce e crescimento lento.

O coqueiro anão ocupa hoje no Brasil uma área de aproximadamente 60 mil hectares, distribuídos entre as regiões Nordeste, Norte, Sudeste e Centro Oeste e, em menor escala, na região Sul. Com a expansão dessa variedade, a cultura do coco, que era tipicamente da zona litorânea nordestina, se interiorizou e ocupou áreas não tradicionais de cultivo. Na orla das grandes cidades brasileiras são produzidas 9,6 milhões de toneladas / ano de lixo e cerca de 70% desta geração é composta por cascas de coco verde, material de difícil degradação e foco de proliferação de doenças (EMBRAPA, 2006).

A produção do coqueiro, em solos bons ou devidamente adubados, é de 300 a 400 frutos por pé e por ano, podendo chegar a 600. Entretanto, no Brasil, os coqueiros produzem uma menor quantidade de frutos – 200 frutos por pé ao ano é a máxima produção obtida em média nas melhores lavouras do Nordeste, devido à frequente falta de correção do solo (EMBRAPA, 2006). Em condições favoráveis de clima e solo a frutificação se dá aos 3 a 4 anos para o coqueiro anão e aos 6 a 8 anos para as espécies comuns.

Nos coqueiros baixos e de altura média, a colheita é feita usando o podão, faca recurvada, montada em vara comprida. Nos coqueiros altos o operário sobe pelo tronco com o auxílio de duas cordas de segurança (Figura 6).

Figura 6: Coqueiro Anão e Coqueiro Alto (ARAGÃO, 2002)



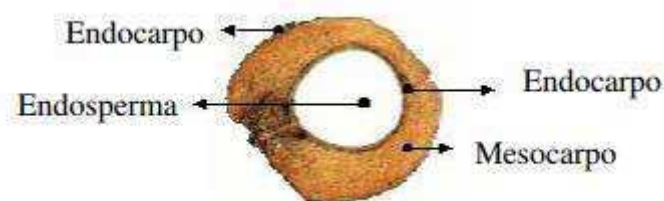
A cultura do coqueiro tem muitas facilidades, pode-se citar:

- O coqueiro cresce nas areias salgadas da praia, onde nenhuma outra lavoura é economicamente viável;
- É de fácil cultivo;
- Produz-se durante longo período.

2.3.3. Características das Fibras de Coco

O fruto do coqueiro, o coco, é constituído por uma parte externa lisa (o exocarpo), por uma parte fibrosa e espessa (o mesocarpo); e por uma casca duríssima e lenhosa (endocarpo) (Figura 7). Todas essas partes envolvem a amêndoa (ESMERALDO, 2006).

Figura 7: Corte Longitudinal do coco (ROSA, 2002)



O mesocarpo ou casca fibrosa externa do coco é quase que totalmente destruído no Brasil, no entanto, produz fibras que poderiam ser utilizadas em diversas aplicações industriais.

É formado pelas densas fibras, agregadas pelo tecido conjuntivo, fibras resistentes às águas salgadas, próprias para cordoaria naval, tapetes, escovas, etc. A fibra no comércio recebe o nome de coiro ou cairo. O mesocarpo de cocos maduros e secos fornece fibra lenhosa e dura, que dá coiro ordinário. Os cocos verdes são os que fornecem a melhor fibra celulósica.

A utilização da fibra do mesocarpo é prática antiga. Oriunda da Índia e Sri Lanka, a fibra de coco começou a ser introduzida na Europa após a chegada dos portugueses à Índia. Já nos séculos XIII e XIV os árabes usavam cordas dessa fibra e ensinaram aos navegantes ingleses o seu aproveitamento (VALE, 2007).

2.3.4. Vantagens na Utilização das Fibras de Coco

As fibras de coco apresentam inúmeras vantagens na sua utilização, além de ser um material ecológico e facilmente reciclável. Pertencente à família das fibras duras, tem como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, encontrando-se perfeitamente vocacionada para os mercados de isolamento térmico e acústico, face às suas características, que a tornam um material versátil, dada a sua resistência, durabilidade e resiliência (MURRAY, 2001).

As principais características técnicas da fibra da casca de coco que lhe garantem vantagens para a utilização industrial são as seguintes:

- Inodora;
- Resistente à umidade;
- Amplia a difusão;
- Não é atacada por roedores;
- Não apodrece;
- Não produz fungos;
- Condutividade térmica de 0,043 a 0,045 W/mk;
- Comportamento ao fogo: classe B2.

O rejeito da indústria convencional do coco maduro pode ser usado como combustível para caldeiras, ou na manufatura de cordoalha, tapetes, estofamentos e capachos. Estudos mais recentes sugerem ainda a utilização do resíduo da casca verde na agricultura intensiva

(principalmente no cultivo de plantas ornamentais e hortaliças), na indústria de papel, na engenharia de alimentos para complementação alimentar humana e animal e na produção de enzimas, na indústria de construção civil e em matrizes poliméricas.

Diversos outros estudos relatam o sucesso da incorporação de fibras orgânicas em misturas asfálticas SMA pois as fibras são usadas como estabilizadores na mistura SMA para evitar o escorrimento, devido à alta porcentagem de ligante asfáltico. Do Vale (2007) utilizou fibras de coco com comprimento de 12,5 mm (teores de 0,3%, 0,5% e 0,7%) em misturas asfálticas do tipo SMA e conseguiu um escorrimento dentro dos limites estabelecidos em norma. Encontrou também valores de Resistência à Tração e Estabilidade Marshall diretamente proporcional ao teor de fibra utilizado, e um Módulo de Resiliência que diminui com o aumento do teor de fibra.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão descritos todos os materiais usados na pesquisa e os métodos para a caracterização deles e das misturas SMA estudadas.

A parte experimental da pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia de Pavimentos – LEP localizado na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Os ensaios foram realizados de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), do Departamento de Infraestrutura e Transportes (DNIT), American Society for Testing and Materials (ASTM) e American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

3.1. Materiais

3.1.1. Agregados Graúdos

Os agregados graúdos (Figura 8 e Figura 9) utilizados na pesquisa foram a brita 19 mm e a brita 9,5 mm adquiridas em Campina Grande - PB.

Figura 8: Brita 19,5mm



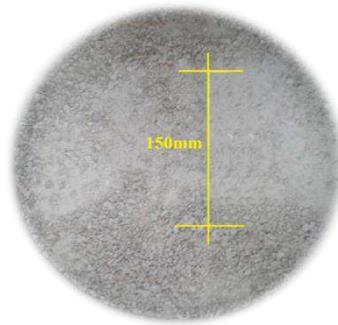
Figura 9: Brita 9,5mm



3.1.2. Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi o pó de pedra (Figura 10).

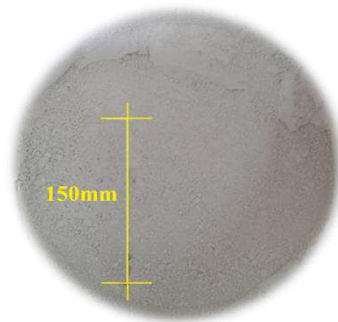
Figura 10: Pó de pedra



3.1.3. Material de Enchimento (Fíler)

Como fíler utilizou-se a cal hidratada (Figura 11).

Figura 11: Cal hidratada



3.1.4. Ligante Asfáltico (CAP)

O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50-70 (Figura 12), cedido pela construtora Rocha Cavalcante Ltda, localizada em Campina Grande - PB. A denominação CAP 50 – 70 foi resultado da caracterização do ligante por meio dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento, ponto de fulgor, viscosidade rotacional, ductilidade e Rolling Thin Film Oven Test – RTFOT.

Figura 12: CAP 50/70



3.1.5. Fibras de Coco

As fibras de coco são constituídas de materiais lignocelulósicos, obtidos do mesocarpo (parte espessa fibrosa). O processo de desfibrção do mesocarpo para obtenção da fibra de coco pode ser feito por maceração em água ou por processos mecânicos. Comparada a outras fibras vegetais, a fibra de coco tem menor percentual de celulose (36 à 43%), entretanto a quantidade de lignina (41 à 45%) é cerca de duas vezes os valores existentes para juta e o sisal, conferindo-lhe, uma maior resistência e dureza frente a outras fibras (ESMERALDO, 2006).

Nessa pesquisa foram utilizadas fibras do mesocarpo do coco (Figura 13), obtidas manualmente por maceração em água de cocos comprados em comércio particular na cidade de Campina Grande - PB.

As fibras foram aplicadas na mistura com comprimentos de 10mm, seguindo recomendações de Vale (2007) que verificou que o uso de fibra de coco com tamanho maior que 20mm ocasionava dificuldades na trabalhabilidade da mistura SMA. Baseado na mesma

bibliografia, foram realizados ensaios em misturas asfálticas SMA sem fibra, com 0,1% e 0,3% de fibra, já que o teor de 0,3% se mostrou eficaz nos estudos de Vale no ensaio de escorrimento, e afim de se estudar como a mistura SMA se comporta com um teor abaixo, decidiu-se por 0,1% de fibra de coco, pois o crescente aumento do teor da fibra traz consigo uma maior dificuldade em sua trabalhabilidade na hora de compactar a mistura.

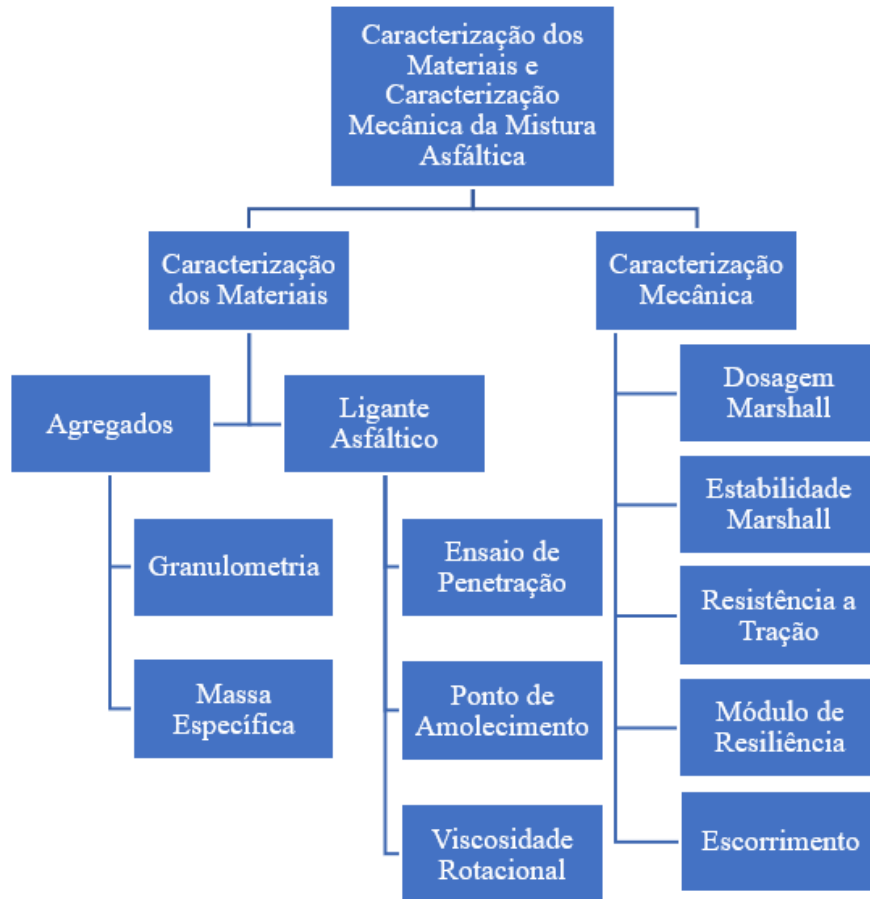
Figura 13: Fibra de Coco



3.2. Métodos

O fluxograma da Figura 14 apresenta as etapas sequenciais desta pesquisa.

Figura 14: Fluxograma da Pesquisa



3.2.1. Caracterização dos Agregados

Os ensaios utilizados para caracterização dos agregados estão listados na Tabela 2.

Tabela 2: Ensaios de Caracterização dos Materiais

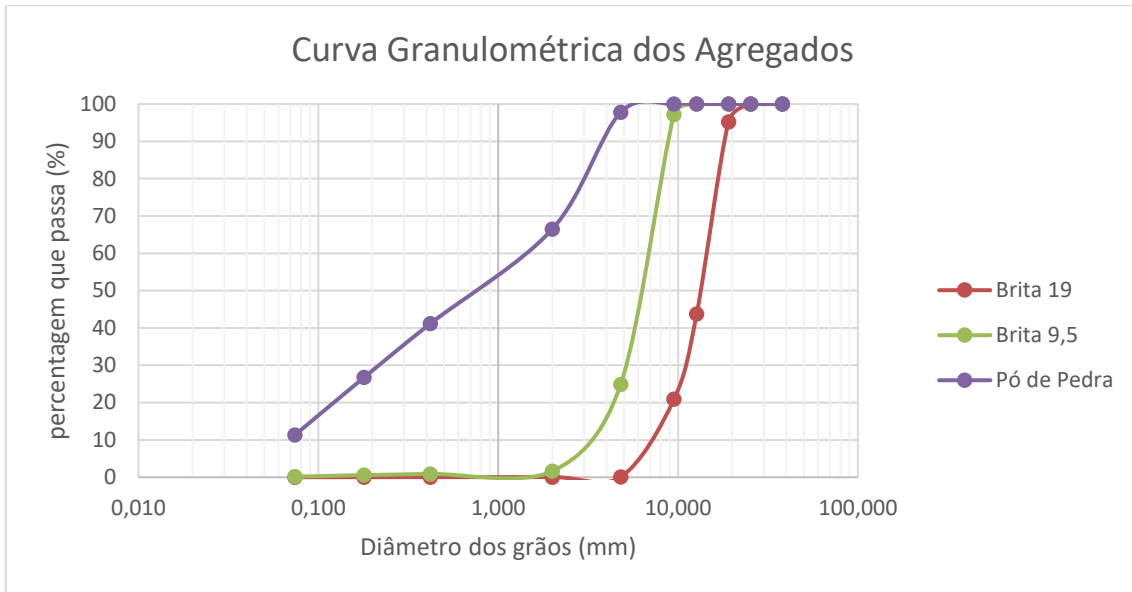
ENSAIOS	METODOLOGIA
Análise granulométrica dos agregados por peneiramento	DNIT – ME 083/98
Massa específica real dos agregados graúdos	DNIT – ME 081/98
Massa específica real dos agregados miúdos	DNIT – ME 084/95

3.2.1.1. Ensaio de Granulometria

A distribuição granulométrica dos grãos dos agregados graúdos e miúdo foi realizada de acordo com a norma DNIT – ME 083/98, objetivando determinar a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanhos de partículas representava na massa total ensaiada, possibilitando assim a obtenção da curva de distribuição dos tamanhos das partículas (Tabela 3 e Figura 15). O método utilizado foi o peneiramento manual, onde a massa total foi dividida em faixas de tamanhos de grãos, exprimindo-se a massa de cada faixa em percentagem da massa total.

Tabela 3: Distribuição granulométrica por peneiramento dos agregados

Peneira	Peneira (mm)	Brita 19	Brita 9,5	Pó de Pedra
1 1/2"	38,100	100,00	100,00	100,00
1"	25,400	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,100	95,25	100,00	100,00
1/2"	12,700	43,79	100,00	100,00
3/8"	9,500	20,93	97,19	100,00
Nº 4	4,800	0,11	24,89	97,79
Nº 10	2,000	0,06	1,65	66,50
Nº 40	0,420	0,04	0,91	41,19
Nº 80	0,180	0,03	0,59	26,79
Nº 200	0,074	0,01	0,16	11,31

Figura 15: Curva de distribuição granulométrica dos agregados

3.2.1.2. Massa Específica dos Agregados Graúdos

No ensaio de massa específica, objetivou-se determinar a massa da unidade de volume do agregado, excluindo-se os vazios entre os grãos e os poros permeáveis, considerando então como se o agregado fosse totalmente comprimido de forma que não houvesse nenhum espaço (tanto internamente quanto externamente).

A determinação da densidade dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio DNIT-ME 081/98.

Foram separadas amostras de 3.000g de brita 19mm e 2.000g de brita 9,5mm sendo, em ambas, desprezado todo o material passante na peneira 4,8mm através do peneiramento a seco. Cada amostra foi lavada para retirada de pó e impurezas e colocadas em estufa a 110°C por 4 horas. Após ser resfriada à temperatura ambiente, cada amostra foi colocada em imersão à temperatura ambiente por 24 horas (Figura 16).

Figura 16: Amostras imersas em temperatura ambiente

Após este tempo o material foi retirado e seco superficialmente para verificar a massa úmida. Em seguida colocado em um recipiente para verificação da massa submersa.

Logo após essa verificação, o material foi colocado novamente em estufa por mais 4 horas, resfriado à temperatura ambiente e verificada sua massa seca, para posteriormente obter a massa específica (Tabela 4).

Tabela 4: Valores de massa específica dos agregados graúdos

	Brita 19	Brita 12,5
Massa específica real, g/cm³	2,63	2,58
Massa específica aparente, g/cm³	2,70	2,75

3.2.1.3. Massa Específica do Agregado Miúdo

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada com o pó de pedra, segundo a norma NM 52/2002 que estabelece o método para determinação da massa específica real e aparente do agregado miúdo.

Foram utilizadas duas amostras de 500g de agregado miúdo que passa na peneira de 4,8mm e fica retido na peneira de 0,074mm. O material foi colocado imerso em água e deixado em repouso por um período de 24 horas. Em seguida foi colocado em uma superfície plana submetendo-o à ação de uma corrente de ar, secando-o de maneira uniforme (Figura 17).

Figura 17: Amostra de agregado miúdo durante secagem



Para verificação do estado do agregado como saturado superfície seca, prossegue-se com a secagem até que os agregados não fiquem mais fortemente unidos entre si. Coloca o agregado miúdo num molde tronco-cônico e compacta-se sua superfície suavemente com a haste de compactação com 25 golpes. Levanta-se verticalmente o molde e observa-se se o agregado conserva a forma do molde, isso acontece se ainda houver umidade superficial.

Continua-se a secagem e repete-se o procedimento até que o cone de agregado miúdo desmorone ao se retirar o molde. Neste momento, o agregado terá chegado à condição de saturado superfície seca.

Pesou-se 500g de amostra e em seguida colocou-se no picnômetro cuidadosamente, registrando a massa do conjunto. Colocou-se, então, água destilada no picnômetro até cobrir a amostra de agregado.

O picnômetro foi mantido durante 1 hora em um banho a temperatura constante de $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$. Em seguida, completou-se o picnômetro com água e então foi determinada a massa do picnômetro mais amostra mais água.

O agregado miúdo foi retirado do frasco e seco em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ até a constância de sua massa. Após esse processo, foi realizada a determinação da massa específica aparente do agregado miúdo (Tabela 5).

Tabela 5: Valor da massa específica do agregado miúdo

Pó de Pedra	
Massa Específica, g/cm³	2,45

3.2.2. Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Para a realização do presente estudo foram confeccionadas misturas asfálticas com CAP 50/70. Foram realizados os ensaios de caracterização física das amostras de CAP no laboratório da UFCG com o intuito de verificar as propriedades para o CAP 50/70 puro. Na Tabela 6 estão inseridas as normas adotadas para a realização dos ensaios.

Tabela 6: Ensaios de caracterização do ligante asfáltico

ENSAIOS	METODOLOGIA
Viscosidade Rotacional	NBR 15184/2007
Ponto de Amolecimento	DNIT ME 131/2010
Penetração	DNIT ME 155/2010

3.2.2.1. Ensaio de Penetração

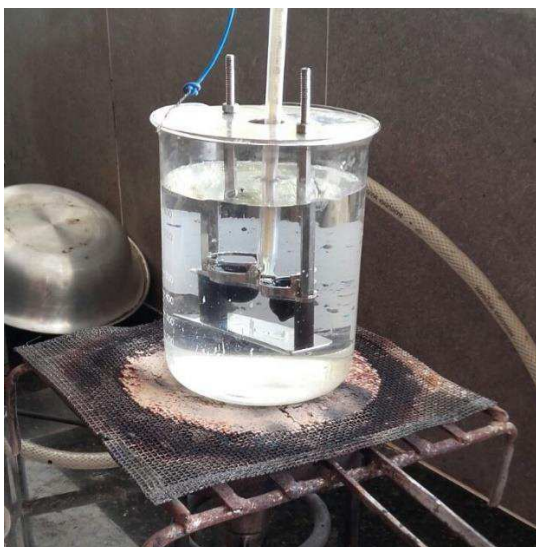
A consistência de um CAP no estado semi-sólido é medida por meio do ensaio de penetração, que é tanto maior quanto menor for a penetração da agulha. O ensaio é regido pela norma DNIT-ME 155 (2010) que classifica o CAP quanto a sua dureza, podendo o CAP 50/70 ter uma penetração de no mínimo 50 décimos de milímetro e no máximo 70 décimos de milímetro. O ensaio consiste em determinar a profundidade, em décimos de milímetros, que uma agulha padronizada penetra verticalmente, durante 5 segundos em uma amostra de CAP a uma temperatura de 25°C. A massa total da agulha é de 100g. Obtivemos como valor 64,6 décimos de milímetro, podendo afirmar que o CAP utilizado encontra-se dentro das especificações da norma.

3.2.2.2. Ponto de Amolecimento

O ensaio de ponto de amolecimento é uma medida que faz referência ao ponto de fusão do CAP, que não é bem definido, pois os CAPs amolecem gradualmente. É medido empiricamente através de uma correlação entre a temperatura no qual o CAP amolece sob certas condições e atinge uma determinada condição de escoamento (BERNUCCI *et al.*, 2007).

O ensaio é regido pela DNIT ME 131/2010. O ponto de amolecimento é a mais baixa temperatura na qual uma esfera metálica padronizada pesando em média 3,50g, atravessa um anel também padronizado e cheio com o material betuminoso, percorrendo uma distância de 25,4mm, sob condições especificadas. O ponto de amolecimento refere-se à média das temperaturas em que as duas esferas envolvidas pelo CAP se deslocam para baixo e tocam a placa de fundo (Figura 18).

Figura 18: Ensaio de Ponto de Amolecimento



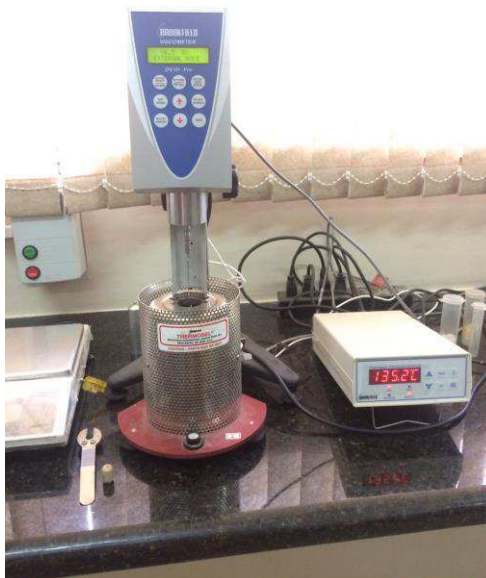
O ponto de amolecimento do CAP 50/70 que utilizamos neste trabalho foi de 46°C, estando este valor dentro dos padrões da Agencia Nacional de Petróleo – ANP que estabelece que o mínimo tem de ser 46°C.

3.2.2.3. Viscosidade Rotacional

Medidas de viscosidade são importantes na caracterização dos CAPs puros e modificados, pois fornecem informações sobre as propriedades de processamento, mistura e lançamento do CAP, até sua aplicação em serviços de pavimentação. O ensaio para determinar a viscosidade dos ligantes asfálticos foi realizado em um viscosímetro rotacional do tipo Brookfield, modelo DVII+ acoplado a um controlador de temperatura THERMOSEL como mostrado na Figura 19. O equipamento tem como finalidade determinar as propriedades reológicas dos ligantes asfálticos convencionais e modificados durante o manuseio e a usinagem da mistura asfáltica a altas temperaturas.

A viscosidade é medida através do torque necessário para rotacionar uma haste de prova (*spindle*) imersa na amostra de asfalto. O ensaio foi realizado segundo a norma NBR 15184/2007 utilizando o *spindle* 21, considerando as temperaturas de 135, 150 e 177°C e velocidades de 20, 50 e 10rpm, respectivamente.

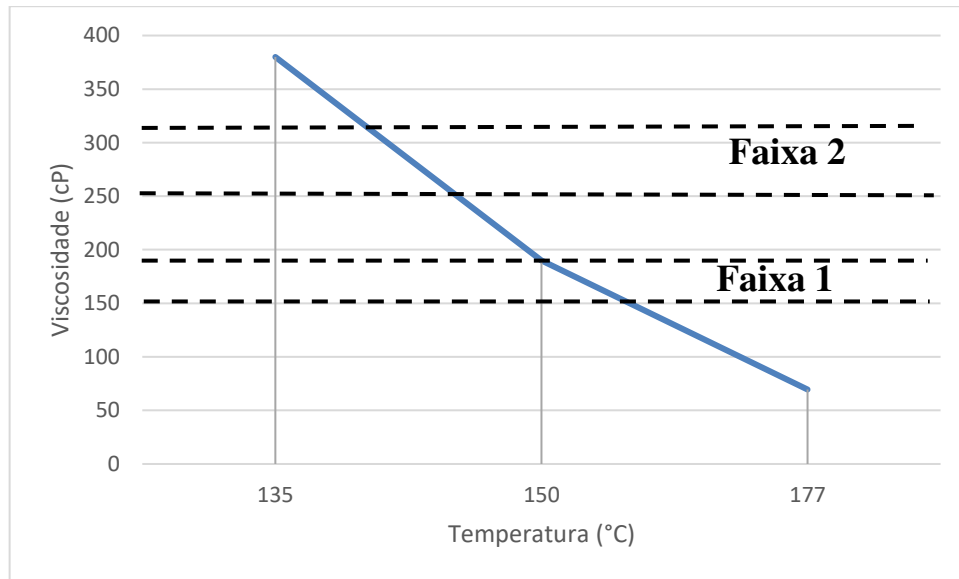
Figura 19: Modelo de um viscosímetro rotacional – LEP/UFCG



Na Tabela 7, encontramos os valores de viscosidade racional para o CAP utilizado nesta pesquisa. A partir da mesma traçamos o gráfico Viscosidade x Temperatura (Figura 20) e determinamos a temperatura de usinagem como sendo 150°C.

Tabela 7: Valores do ensaio de Viscosidade Rotacional

Viscosidade Rotacional			
Temperatura (°C)	135	150	177
Viscosidade (cP)	69,5	190	380

Figura 20: Gráfico de Viscosidade x Temperatura

3.2.3. Caracterização Mecânica

3.2.3.1. Dosagem Marshall

É o método de dosagem mais usado mundialmente e faz uso da compactação por impacto no compactador Marshall (Figura 21). Seu nome faz referência ao engenheiro Bruce Marshall que o desenvolveu na década de 1940. (BERNUCCI et al, 2008).

Figura 21: Equipamento Utilizado para compactação Marshall



A norma DNER-ME 043/95, que trata do método de dosagem Marshall, recomenda o esforço de compactação de 50 golpes em cada face do corpo de prova, para pressão de inflação do pneu até 7kgf/cm^2 , e de 75 golpes em cada face do corpo de prova, para pressão de inflação do pneu de 7kgf/cm^2 até 14kgf/cm^2 .

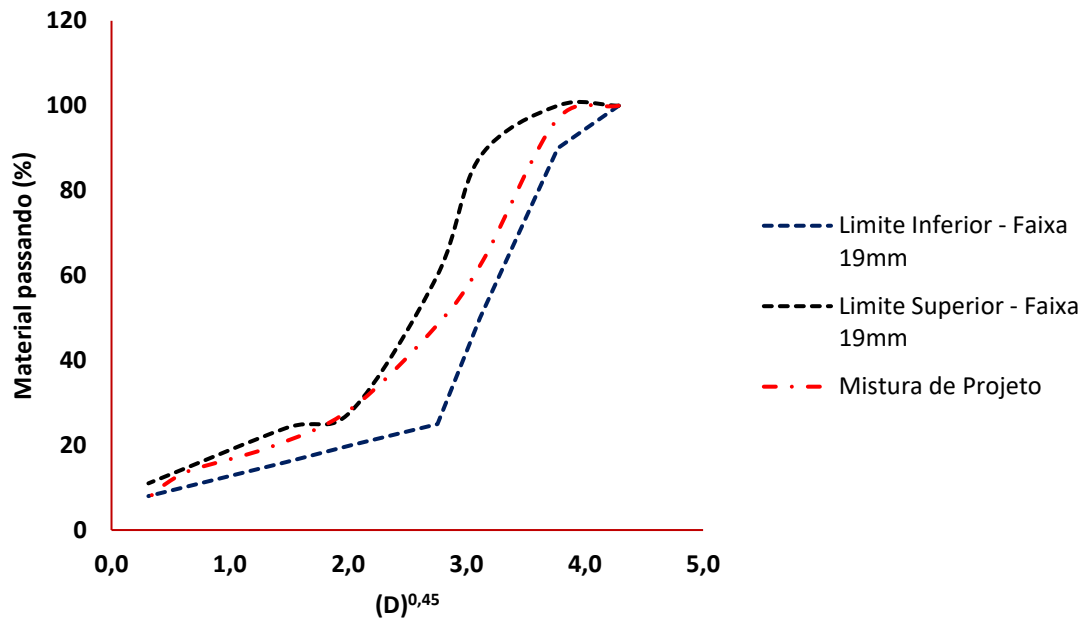
No Brasil, tem-se empregado principalmente o método Marshall, adotado pelo DNIT (DNER-ME 043/95 e DNER-ME 138/94), sendo utilizado no projeto de misturas de concreto asfáltico (cimento asfalto de petróleo e agregados, estes últimos com diâmetro máximo igual a 1”).

O objetivo do método consiste em determinar-se o teor ótimo de asfalto (teor de projeto, também denominado de teor ótimo) que deverá ser adicionado à mistura de agregados (que respeita a faixa granulométrica pré-fixada), a fim de que sejam satisfeitas às condições prescritas na Especificação de Serviço do DNIT (DNER-ES 031/2004).

3.2.3.2. Dosagem de Projeto

A partir da curva de granulometria dos agregados e da curva Fuller, foi possível determinarmos uma dosagem dos agregados que se enquadrasse na norma AASHTO MP-08-02 (Figura 22).

Figura 22: Curva Fuller



Com a curva do projeto determinada, temos a proporção de cada agregado que foi utilizado para encontrar o teor ótimo do ligante.

A Tabela 8, apresenta as quantidades dos materiais que utilizamos para encontrar o teor ótimo de ligante da mistura.

Tabela 8: Proporção dos agregados para determinação do teor ótimo de CAP

Quantidade (%)			
Brita 19mm	Brita 9,5mm	Pó de Pedra	Fíler
65,00	8,00	22,00	5,00

Foram moldados três corpos de prova para cada teor de ligante e deles foram obtidos os parâmetros volumétricos a serem avaliados, como mostrado na Tabela 9 (volume de vazios (Vv), vazios no agregado mineral (VAM) e vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada (VCA_{MIX}).

Tabela 9: Resultados das especificações verificados por NAPA (1999)

Teores	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%	7,00%
Volume de Vazios	5,58%	4,69%	4,03%	3,34%	2,95%
Relação Betume/Vazios	66,40%	72,14%	76,68%	81,14%	83,98%
Vazios do Agregado Mineral - Vam	16,61%	16,85%	17,29%	17,71%	18,38%

Com as variações de teores obtiveram-se os gráficos de volume de vazios (Vv) x teor de ligante e volume de vazios do agregado mineral (VAM) x teor de ligante, vistos nas Figura 23 e Figura 24.

Figura 23: Teor de asfalto vs Vv

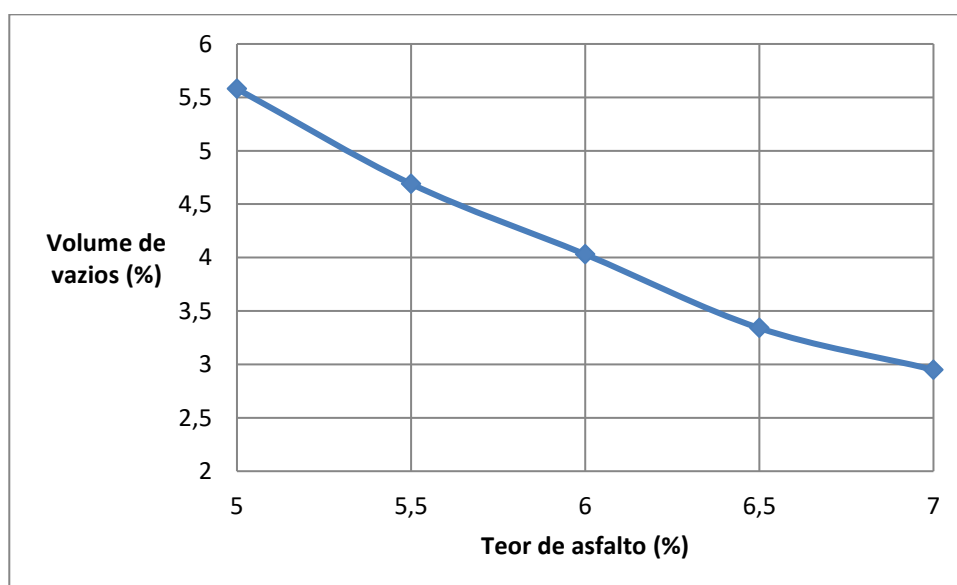
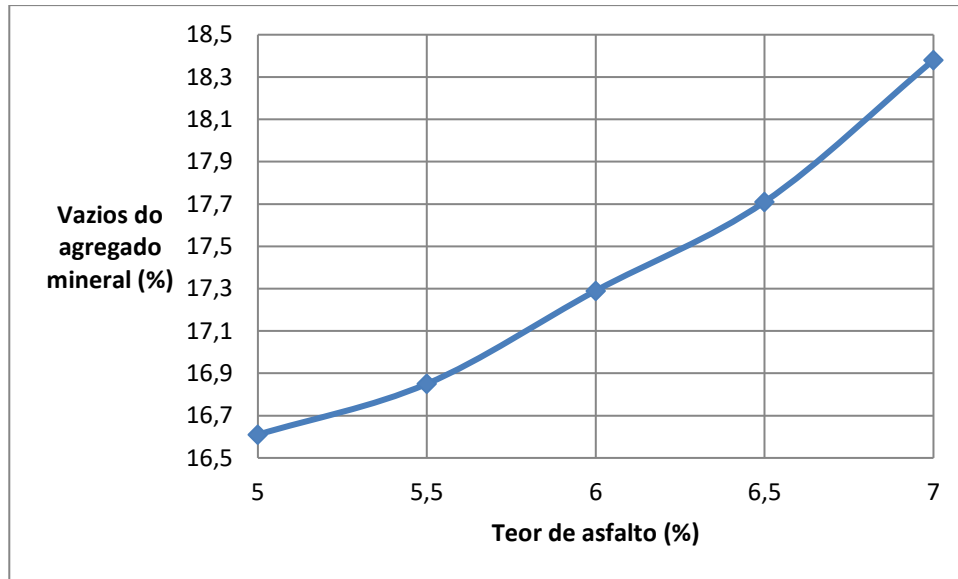


Figura 24: Teor de asfalto vs VAM

A AASHTO MP 8-02 recomenda que a SMA deve possuir 4% de vazios, $VAM \geq 17\%$ e $VCA_{MIX} \leq VCA_{DRC}$, sendo VCA_{DRC} os vazios da fração graúda do agregado compactado.

Por meio da análise do gráfico obtido, e fixando o volume de vazios em 4% para atender a AASHTO MP 08-02, determinou-se que o teor de CAP a ser utilizado nas misturas equivalente a 6,00% e um volume de agregados minerais de 17,29%, satisfazendo assim os requisitos mínimos da mistura SMA. Verificou-se também que a condição de $VCA_{MIX} \leq VCA_{DRC}$ para SMA foi atendida.

Com o teor ótimo de CAP definido, foi estabelecido os teores dos outros materiais (Tabela 10).

Tabela 10: Quantidades dos materiais componentes da mistura asfáltica

Mistura	Quantidade (%)				
	Brita 19mm	Britas 9,5mm	Pó de Pedra	Filler	CAP
	61,10	7,52	20,68	4,70	6,00

3.2.3.3. Escorrimento

O Ensaio de Escorrimento é regido pela a norma AASHTO T 305-97 em que é utilizado para determinar a quantidade de ligante asfáltico que potencialmente poderá escoer na mistura SMA (Stone Matrix Asphalt). É estabelecido um valor máximo admitido no ensaio laboratorial de forma a evitar perda de ligante no transporte, na aplicação e na compactação SMA. Em linhas gerais, o ensaio consiste em inserir uma amostra de no mínimo 1.200 g de SMA usinado, utilizando a faixa granulométrica, teor de ligante e teor de fibras que se deseja testar, em um cesto cilíndrico confeccionado com tela de abertura 6,3 mm, com fundo suspenso, afastado do fundo. Pesa-se e insere-se o conjunto apoiado em um papel-filtro, dentro de uma estufa regulada na temperatura de compactação por 1h. Transcorrido o tempo, retira-se o conjunto da estufa e pesa-se a folha de papel-filtro novamente que poderá conter ligante escoado da mistura. (BERNUCCI *et al*, 2007)

Foram realizados ensaios em misturas asfálticas SMA sem fibra, com 0,1% e 0,3% de fibra de coco, faixa recomendada por VALE (2007). Para cada percentagem de fibra, o ensaio foi realizado na temperatura de 150°C, temperatura de mistura do ligante CAP 50/70, e em 165°C, temperatura do ligante mais 15°C, conforme regido em norma. (Figura 25)

Figura 25: Ensaio de Escorrimento



3.2.3.4. Estabilidade Marshall

A estabilidade corresponde à ruptura do corpo de prova moldado com a dosagem Marshall devido ao esforço de compressão, valor expresso em kgf, exercido durante o ensaio de compressão diametral e é regida pela norma do ME 043/95 do DNIT.

A estabilidade é definida como um deslocamento ou quebra do agregado de modo a causar diminuição na carga necessária para manter o prato da prensa se deslocando a uma taxa constante (0,8 mm/segundo).

A estabilidade medida foi multiplicada por um fator de correção, conforme procedimento estabelecido no método de ensaio e média obtida através dos valores de 3 corpos de prova.

3.2.3.5. Resistência à tração por compressão indireta (RT)

O ensaio de resistência a tração consistiu na aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão no corpo de prova. Confeccionou-se 3 corpos de prova, para cada teor de fibra e para a mistura sem fibra, que foram colocados no dispositivo de posicionamento e centralização e submetidos ao carregamento pela prensa. (Figura 26)

Figura 26: Prensa utilizada para os Ensaio de Estabilidade Marshall e Resistência a Tração



3.2.3.6. Módulo de resiliência (MR)

O ensaio de Módulo de Resiliência é um ensaio de carga repetida em que a força aplicada atua sempre no mesmo sentido de compressão, de zero a um máximo e depois diminui até anular-se, ou atingir um patamar inferior, para atuar novamente após pequeno intervalo de repouso procurando reproduzir as condições de campo. A amplitude e o tempo de pulso dependem da velocidade do veículo e da profundidade em que se calculam as tensões de deformações produzidas. A frequência remete o fluxo de veículos (MOURÃO, *et al.* 2003). O ensaio para a determinação do módulo de resiliência, ensaio de tração indireta com carregamento repetido, simula o comportamento mecânico da mistura asfáltica, na zona onde ocorrem as deformações específicas de tração, responsáveis pela fadiga da camada.

O ensaio do Módulo de Resiliência (MR) foi realizado segundo Norma NBR 16018/2010. Os resultados foram obtidos com auxílio do *software* UTS0031.39 *Indirect Tensile Modulus Test*, utilizando a prensa UTM-25 (Figura 27), que obtém o módulo instantâneo. Condicionamentos de 50 ciclos são utilizados, e os LVDTs (*Linear Variable Differential Transducer*) e medem a deformação elástica do CP durante o carregamento cíclico com frequência de 1Hz, sendo que 0,1segundo é utilizado para aplicação de carga e 0,9segundo para descanso. O equipamento é automatizado e um *software* é utilizado para cálculo do MR, sendo que este valor é uma média dos resultados em 5 leituras após os ciclos de condicionamento a que o CP é submetido.

Figura 27: Equipamento utilizado para o ensaio de modulo de resiliência – LEP/UFCG



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Ensaio de Escorrimento

No Ensaio de Escorrimento testamos três misturas com teores de fibra diferentes (sem fibra, 0,1% de fibra e 0,3% de fibra), em uma temperatura de 150°C e testamos os mesmos teores em uma temperatura de 165°C.

Obtivemos os seguintes resultados para a temperatura de 150°C e para 165°C. (Tabela 11, Figura 28, Figura 29 e Figura 30)

Tabela 11: Resultados do Ensaio de Escorrimento

	Temperaturas (°C)		NAPA (1999)
	150	165	
	Escorrimento (%)		
Mistura sem fibra	1,27	1,77	
0,1% de fibra	0,72	0,98	<0,3
0,3% de fibra	0,07	0,16	

Figura 28: Escorrimento da mistura sem adição da fibra à 150°C e 165°C, respectivamente



Figura 29: Escorrimento da mistura com 0,1% de fibra à 150°C e 165°C, respectivamente



Figura 30: Escorrimento da mistura com 0,3% de fibra à 150°C e 165°C, respectivamente



Podemos notar que sem a fibra tivemos um escorrimento muito superior do especificado por NAPA (1999). A norma preconiza que para ser uma mistura SMA o escorrimento não pode ser superior a 0,3%. Vimos que sem a fibra o escorrimento chegou a mais de 1,0%. Quando adicionamos a fibra podemos notar que o escorrimento caiu bruscamente chegando abaixo de 0,1%. Ou seja, dentro das especificações de NAPA (1999). Pelas figuras acima notamos que o escorrimento com a adição da fibra foi quase imperceptível para um teor a partir de 0,3%. O

mesmo não se pode concluir para o teor de 0,1% de fibra, pois seu escoamento apresentado é bem superior ao limite estabelecido por norma.

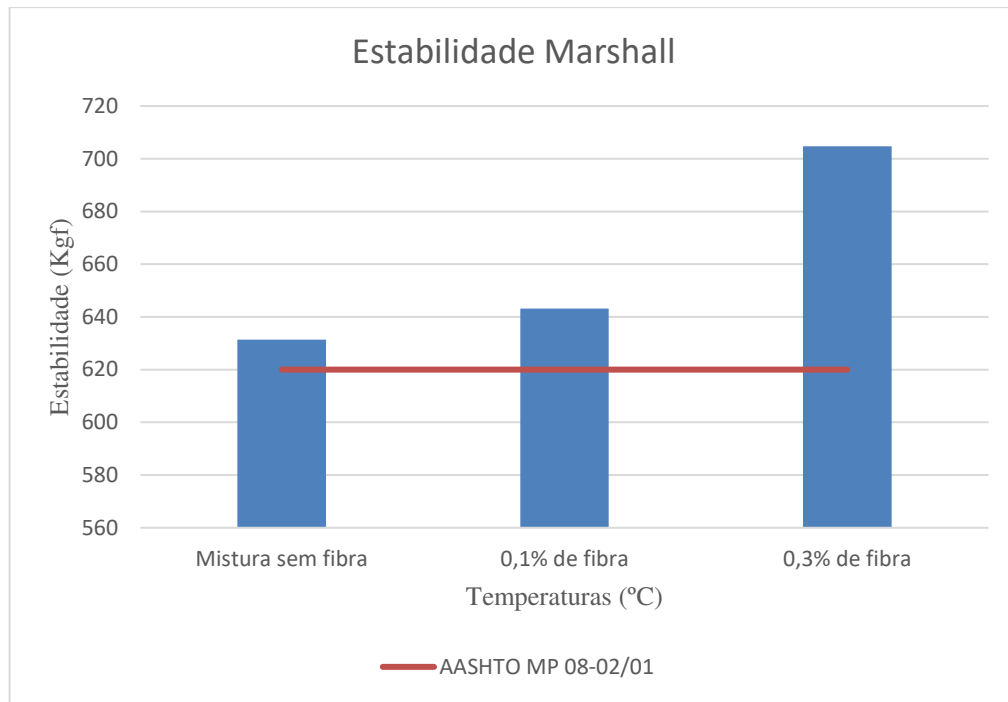
Ferreira *et al* (2013) conseguiu um escoamento de 0,018% utilizando uma temperatura de 175°C, fibras do bagaço da cana de açúcar e um CAP 30/45. Miranda *et al* (2013) utilizou fibras de celulose em Misturas Asfálticas tipo SMA e obteve um escoamento de 0,18% a temperatura de 180 °C. Do Vale *et al* (2007) utilizou fibras de coco com comprimento de 12,5 mm em Misturas Asfálticas do tipo SMA e conseguiu um escoamento máximo utilizando 0,5% da fibra do coco de 0,25 a 180°C e o escoamento mais baixo de 0,04 a 165°C utilizando 0,7% da fibra do coco.

4.2. Estabilidade Marshall

A Tabela 12 e Figura 31 representa o Ensaio de Estabilidade que foi realizado em três corpos de prova para cada tipo de teor (teor sem a fibra de coco, teor com 0,1% da fibra e o teor de 0,3% da fibra).

Tabela 12: Resultados do Ensaio de Estabilidade Marshall

	Estabilidade Marshall (Kgf)			
	CP I	CP II	CP III	Média
Mistura sem fibra	630,46	628,50	635,21	631,39
0,1% de fibra	656,36	603,21	670,03	643,20
0,3% de fibra	701,69	723,06	689,44	704,73

Figura 31: Resultado da Estabilidade Marshall

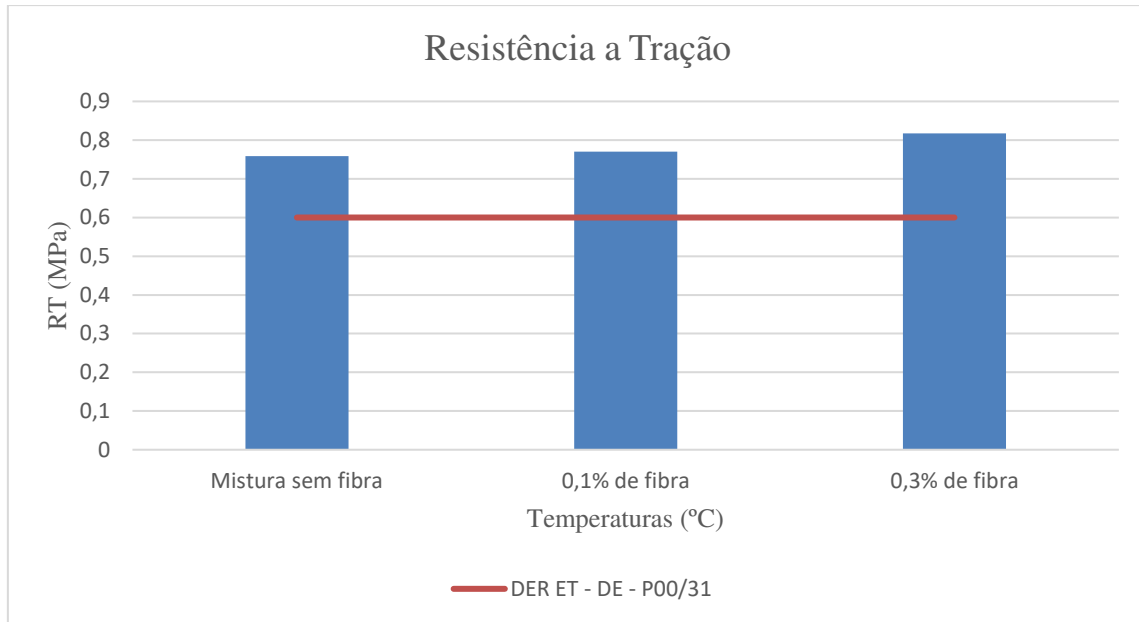
Para ser considerada uma Mistura Asfáltica do tipo SMA, os corpos de prova devem ter uma Estabilidade Marshall maior ou igual a 620 Kgf (NAPA, 1999). Como visto na tabela, todos os três teores de fibra obtiveram um resultado de Estabilidade Marshall maior do que o especificado. Quanto maior o teor de fibra utilizado, maior foi o resultado encontrado.

4.3. Resistência à Tração (RT)

Os resultados de Resistência à Tração estão expressos na Tabela 13 e Figura 32 a seguir.

Tabela 13: Resultados do ensaio de Resistência à Tração

	Resistência a Tração (MPa)			
	CP I	CP II	CP III	Média
Mistura sem fibra	0,76	0,76	0,76	0,76
0,1% de fibra	0,77	0,78	0,76	0,77
0,3% de fibra	0,81	0,81	0,84	0,82

Figura 32: Resultados do ensaio de Resistência à Tração

É possível notar que com a adição da fibra a resistência à tração teve um aumento gradual. Esse aumento ocorreu em função das fibras na estrutura atuando como elementos de “costura” diminuindo a aceleração do processo de fissuração da mistura asfáltica.

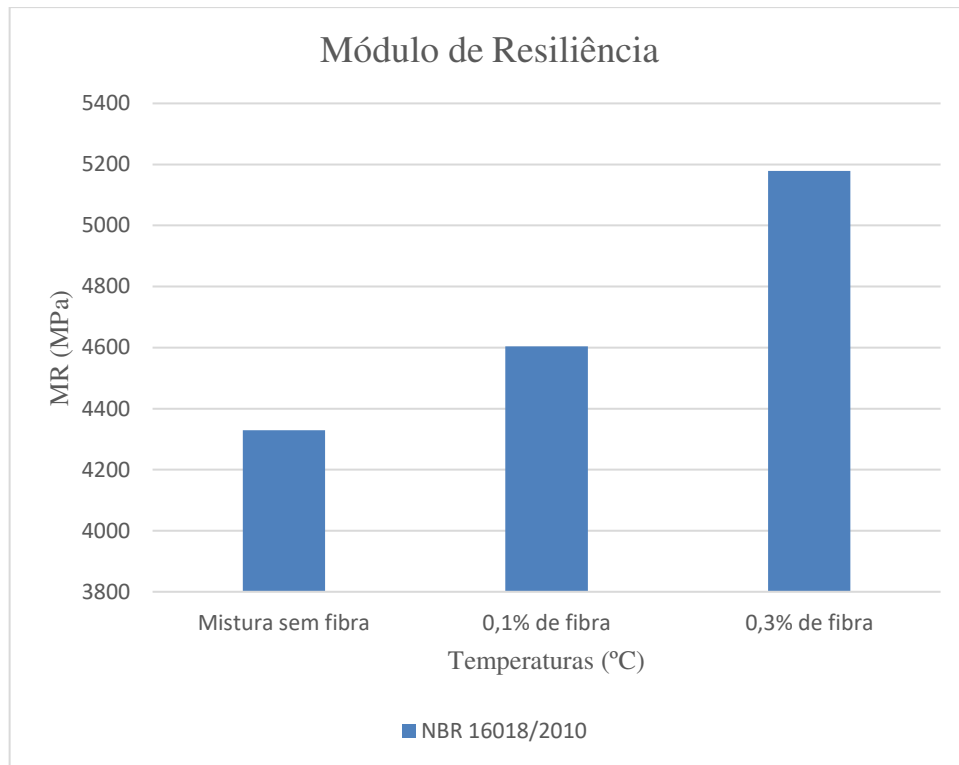
Do Vale (2007) com a utilização da fibra de coco com comprimento de 12,5 mm em misturas asfálticas do tipo SMA para compactação Marshall obteve uma Resistência a Tração de 0,76 Mpa com o CAP 50/70 puro. Esse mesmo autor testou a fibra de celulose com o mesmo comprimento e o mesmo CAP 50/70 e teve como resultado uma Resistência a Tração de 0,67 Mpa.

4.4. Módulo de Resiliência

Os resultados do ensaio de modulo de resiliência encontram-se na Tabela 14 e Figura 33, e estão de acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 16018/2010.

Tabela 14: Resultados do Ensaio de Módulo de Resiliência

	Módulo de Resiliência (Mpa)			
	CP I	CP II	CP III	Média
Mistura sem fibra	3339,00	4425,00	5224,00	4329,33
0,1% de fibra	4593,00	4937,00	4283,00	4604,33
0,3% de fibra	4710,00	5958,00	4869,00	5179,00

Figura 33: Resultados do ensaio de módulo de resiliência

A partir dos resultados acima expostos, pode-se notar que nos valores referentes à Norma Brasileira ABNT houve um gradual aumento do Módulo de Resiliência quanto maior foi o teor de fibra adotado. Além disso, todos os teores obtiveram resultados no intervalo de 2.000 a 8.000 MPa, considerados valores típicos para misturas asfálticas a temperatura ambiente de acordo com Bernucci et al. (2007).

Do Vale (2007) encontrou um Módulo de Resiliência de 2689 MPa para a fibra do coco com comprimento de 12,5 mm e teor de 0,5% de fibra. Para a fibra da celulose com o mesmo comprimento e teor foi obtido um Módulo de Resiliência de 3184 Mpa, já para a mistura sem as fibras foi obtido um Módulo de Resiliência de 3423 Mpa. Ferreira (2013) obteve um Módulo de Resiliência de 2468 MPa para a fibra do bagaço da cana de açúcar com comprimento de 20 mm e teor de 0,3% de fibra.

5. CONCLUSÕES

Ao fim deste trabalho, chegou-se a algumas conclusões unindo-se o estudo teórico e os resultados obtidos na prática acerca da utilização da fibra de coco em misturas asfálticas SMA.

Inicialmente constatou-se a necessidade do uso de um aditivo estabilizador para conter o escorrimento na mistura asfáltica SMA estudada, e percebeu-se por meio dos resultados obtidos no ensaio de escorrimento que a fibra de coco pode ser uma alternativa. Essa análise da viabilidade do uso da fibra de coco local é importante para a região Nordeste, devido à valorização do material regional e também por ser economicamente viável quando comparado à fibra de celulose, devido a sua abundância na região.

Também se constatou que o teor de 0,3% adotado fez com que o valor do escorrimento da mistura obedecesse ao limite de 0,3% preconizado por norma. Podendo-se caracterizá-lo como um teor considerado próximo de ótimo, pois um teor muito acima desse pode ser prejudicial à mistura, tendo a trabalhabilidade da mistura afetada e possivelmente alguns resultados mecânicos também.

Vimos também que além de diminuir o escorrimento, houve um aumento no valor da Estabilidade Marshall e na Resistência à Tração em relação aos corpos de provas sem a fibra. Esse aumento foi significativo nos dois ensaios mecânicos.

Para o ensaio de Módulo de Resiliência (NBR 16018/2010), os valores encontrados para as misturas asfálticas estão dentro dos valores típicos para as mesmas, sendo as amostras com teor de 0,3% de fibra as que apresentaram maiores valores para o ensaio.

Portanto, podemos concluir que para os materiais utilizados a dosagem Marshall realizada com o teor de fibra de 0,3% com 10 mm de comprimento foi o que apresentou os melhores resultados. Desta maneira, a utilização da fibra de coco em misturas asfálticas do tipo SMA foi experimentalmente aprovada e tornando-se uma alternativa de destinação final deste tipo de resíduo.

5.1. Sugestões para Pesquisas Futuras

Com o intuito de aprofundar esta pesquisa sugerem-se os seguintes estudos:

- Avaliar o uso de outros CAPs na mistura, como efeito de comparação;
- Realizar pesquisa para outras faixas granulométricas SMA, como a 12,5 e a 9,5mm, utilizando a mesma fibra dessa pesquisa;
- Avaliar aspectos de durabilidade das misturas asfálticas SMA fabricadas com fibra de coco.

6. REFERÊNCIAS

AASHTO T 79-15, 2015, **Standard Method of Test for Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Asphalt Mixtures Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)**, American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO T 283-89, 1989, **Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage**, American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO T 305-97, 1997, **Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures**, American Association of State Highway and Transportation Officials.

ARAGÃO, W. M. (2002) **Coco: Pós-Colheita. Série Frutas do Brasil**. Brasília: Embrapa.

ASSIS, J. S.; RESENDE, J. M.; SILVA, F. O.; SANTOS, C. R.; NUNES, F. (2000). **Técnicas para colheita e pós-colheita do coco verde**. Petrolina: Embrapa.

ASTM D 4791-10, 2010, **Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures**, American Society for Testing and Materials.

ASTM C 1252-06, 2006, **Standard test methods for uncompacted void content of fine aggregate (as influenced by particle shape, surface texture, and grading)**, American Society for Testing and Materials.

ASTM D 3497-03, 2003, **Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures (Withdrawn 2009)**, American Society for Testing and Materials.

ASTM D 5821-13, 2013, **Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate**, American Society for Testing and Materials

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração**. São Paulo/SP. Oficina dos Textos, 2007.

BINDU, C. S., BEENA K. S. **Influence of natural fibres on the compressive strength of Stone Matrix Asphalt mixtures**. Kerala/Índia, 2015.

BELIGNI, M., VILLIBOR, D. F., CINCERRE, J. R., 2000, Mistura asfáltica do tipo SMA (Stone Matrix Asphalt): Solução para Revestimentos de Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas. **In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**, 32., 2000. Anais..., Brasília, DF.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e Soares, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras. ABEDA. Rio de Janeiro, 501p, 2007.

BLAZEJOWSKI, Krzysztof. **Stone Matrix Asphalt: Theory and Practice**. 2 ed, 2010. Estados Unidos: CRC Press.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2016 – Principais dados**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/pesquisa-cnt-aponta-58-das-rodovias-com-problemas>>. Acesso em 25 de Março de 2017.

DIKSHITH, R. S. **Laboratory investigation on stone matrix asphalt using banana fiber**. 2012. 46p. TCC (graduação em Engenharia Civil) - National Institute Of Technology, Rourkela, 2012.

DNIT-ME 035/98, 1998, **Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT-ME 044/95, 1995, **Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT-ME 054/97, 1997, **Método de ensaio – equivalente areia**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT-ME 078/94, 1994, **Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT-ME 0135/10, 2010, **Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT-ME 083/98, 1998, **Agregados – Análise granulométrica**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT-ME 0136/10, 2010, **Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

EL-HAGE, Robert B. **Estudo de misturas asfálticas tipo Stone Matrix Asphalt (SMA) à luz dos compactadores Marshall e Superpave**. Dissertação de Mestrado, São Carlos, SP, Brasil, EESC, 2012.

EMBRAPA (2011) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Evolução da Produção de Coco no Brasil e o Comércio Internacional: Panorama 2010**. Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf>. Acesso em 25 de agosto 2017.

GOMES, Thiago S., VISCONTE, Leila L. Y., PACHECO, Elen B. A. V. **Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos de polietileno de alta densidade parte 1. Avaliação mecânica e térmica.** Rio de Janeiro, RJ, UFRJ, 2013.

HORST E (2000) **Stone Mastic Asphalt – Pavement Techonology.** In: Anais do 15º Encontro de Asfalto, artigo IBP620_00. Rio de Janeiro, Brasil.

MOURÃO, Fabricio A. L., **Misturas Asfálticas de Alto Desempenho Tipo SMA.** Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, COPPE/UFRJ, 2003.

MURRAY, N. P. (2001). **Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Tesis del Doctorales.** Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

NAPA (1982) **Mix Design Techniques – Part I. NAPA TAS-14.** National Asphalt Pavement Association, Instructors Manual.

NAPA (1999) **National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Series 122.** USA, Desining and Construction SMA Mixtures – State-of-the-Practice.

NAPA (2002) **Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice. Quality Improvement Series 122.** National Asphalt Pavement Association, EUA.

NASCIMENTO, L.A.H., **Novas abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso de compactador giratório e foco na deformação permanente.** 2008. Dissertação de mestrado. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

NEVES FILHO, Cláudio L.D., **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha.** Dissertação de mestrado, São Carlos, SP, Brasil, EESC-SP, 2004.

RAMOS, Kleberon de O. **Estudo sobre mistura asfáltica tipo Stone Matrix Asphalt (SMA) para pavimento aeroportuário.** Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, IME-RJ, 2012.

REIS, Rafael M. M., BERNUCCI, Liedi B., ZANON, Anelise L., 2002, “Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Trafego Pesado”. In: **Anais da Reunião de Pavimentação Urbana – 11º RPU**, Porto Alegre, RS, Brasil, 16-19 Julho.

ROSA, M. F. (2002). **Alternativas para o Uso da Casca do Coco Verde.** Rio de Janeiro: Embrapa.

DA SILVA, C.L, DA SILVA, A.C.L., DA FROTA C.A.,2014, **Módulo dinâmico de compósitos asfálticos com agregados sinterizados de argila calcinada,** Manaus, AM, Amazonas, Brasil.

SCALICE, Régis K. **Manual do engenheiro chefe: projeto de equipamentos modulares para o processamento de fibra de bananeira**. Joinville, SC, UDESC, 2009.

VALE, Aline C. do, SOARES, Jorge B., CASAGRANDE, Michele D. T., 2007, **“Aplicabilidade de fibras de coco em misturas asfálticas tipo SMA”**. In: **4º PDPETRO**, Campinas, SP, Brasil, 21-24 Outubro.