

ESTUDO DE MISTURAS AREIA-ASFALTO COM AREIA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, FIBRA DO AÇAÍ E POLÍMEROS PARA A CIDADE DE MANAUS, AM

Study of sand-asphalt mixtures with sand from construction waste and demolition, açai fiber and polymers applied to the city of Manaus, AM

Patrícia de Magalhães Aragão Valença¹, Consuelo Alves da Frota², Rayglon Alencar Bertoldo³ e Tayana Mara Freitas da Cunha⁴

¹Aluna de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia (PPG-ENGRAM). Universidade Federal do Amazonas

E-mail: patriciamavalenca@hotmail.com

²Professora Associada na Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas

E-mail: cafrota@ufam.edu.br

³Aluno de graduação na Universidade Federal do Amazonas

E-mail: rgbertoldo@hotmail.com

⁴Aluna de doutorado em Química Analítica, Universidade Federal do Amazonas

E-mail: tayanamfc@yahoo.com.br

RESUMO

Os pavimentos da capital do estado Amazonas, situada na região Norte do Brasil, particularizam-se com patologias precoces devido às peculiaridades geotécnicas da região, ocasionando execução de camadas de base e sub-base com material argiloso e revestimento do tipo areia-asfalto. Por outro lado a região Amazônica é a maior produtora do fruto do açai (*Euterpe Oleracea*), que contém semente recoberta de tufo fibroso representando cerca de 90 % do fruto, cujas fibras serão aqui utilizadas em compósitos asfálticos. Pertinente ao ligante betuminoso aferiu-se a modificação pela inclusão dos copolímeros de etileno e acetato de vinila (EVA) e de estireno e butadieno (SBS). Neste contexto, o trabalho analisou o comportamento mecânico de misturas areia-asfalto (AAUQ) com inserção da fibra do açai, uso de asfalto-polímero e emprego de duas areias, uma residual (Areia Manaus) e outra oriunda de Resíduos sólidos de Construção e Demolição (areia RCD), objetivando viabilizar o uso de materiais da região como alternativa técnica às vias urbanas. Pelos resultados conclui-se: a fibra do açai atuou preenchendo vazios, o polímero EVA elevou o valor de módulo de resiliência, o polímero SBS aumentou a resistência à tração e a areia RCD proporcionou altos valores de resistência à tração e módulo de resiliência.

Palavras-chave: Areia-Asfalto, Fibra do Açai, Polímero EVA, Polímero SBS.

ABSTRACT

The pavements of the capital of Amazonas state, located in northern Brazil, particularize with early pathologies due to the geotechnical peculiarities of region, which cause the execution of the base and sub-base layers with clay material and sand asphalt. On the other hand the Amazon region is the largest producer of the fruit of açai (*Euterpe Oleracea*), which contains seeds covered with fibrous tufts representing 90 % of the fruit, whose fibers will be used here in asphalt composite. Pertaining to the asphalt binder is measured at its modification by inclusion of copolymers of Ethylene and Vinyl Acetate (EVA) and of Styrene Butadiene (SBS). In this context, the study in question analyzed at the mechanical behavior of sand-asphalt mixtures with insertion of fiber of açai, use of asphalt-polymer and use of two sands, a residual (Manaus sand) and other originating from Waste Construction and Demolition (WCD sand), aiming to enable the use of materials of the region as technical alternative to urban roads. The results concluded: the fiber of açai acted filling voids, the EVA polymer increased value of resilient modulus, the SBS polymer increased tensile strength, and the WCD sand presented high values of tensile strength and modulus of resilience.

Keywords: Sand Asphalt, Açai Fiber, EVA Polymer, SBS Polymer.

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação asfáltica no município de Manaus, AM compreende inerentes dificuldades quanto à utilização de material pétreo, pois conforme Sarges *et al.* (2010) a ocorrência superficial da citada matéria-prima incide longe dos centros populacionais e, ao mesmo tempo, o arcabouço rochoso do estado é formado principalmente pelas

chamadas rochas moles ou sedimentares das bacias do Solimões e Amazonas, que sujeitas a um intenso processo de intemperismo físico-químico propiciou o desenvolvimento, em geral, de espessas camadas de solos argilosos, recobertos por densa cobertura vegetal da floresta, contribuindo sobremaneira para tornar dispendiosa a exploração do citado material natural. Esta problemática propicia pavimentos com base e sub-base

argilosas, tendo como revestimento misturas do tipo areia-asfalto usinada a quente (AAUQ). Tal estrutura de camadas mostra-se usual nas vias urbanas regionais, em decorrência da redução de custos. Embora, no caso da camada betuminosa e segundo Bernucci *et al.* 2008, esta é normalmente empregada em rodovias de tráfego não muito elevado, do qual Silveira (1999) define como misturas menos duráveis pela ausência de agregado graúdo e alto volume de vazios.

Advindo das referidas características e aliado às severas condições climáticas regionais –altas pluviosidades e elevadas temperaturas–, tem-se a falência estrutural precoce das mencionadas estruturas, como efeito de uma deficiente pavimentação ante o comportamento mecânico, situação confirmada pela Confederação Nacional de Transportes – CNT (2010) em seu levantamento onde de 12,83 % das rodovias situadas na região Norte, 43,3 % se classificam como péssimas e 33,8 % como ruins.

Esta constatação motiva o presente trabalho –estudar alternativas aos revestimentos asfálticos normalmente empregados do tipo areia-asfalto, utilizando matérias primas disponíveis na região (resíduos industriais e rejeitos agrícolas) juntamente com modificadores do ligante betuminoso comercializado pela refinaria local, objetivando compor uma mistura asfáltica de melhor qualidade mecânica e viável técnica e economicamente.

Quanto aos resíduos industriais empregou-se no mencionado compósito asfáltico uma areia proveniente da parte remanescente da britagem de resíduos de construção e demolição, denominada como areia de Resíduos sólidos de Construção e Demolição (RCD), em serventia da fração cimentícia e do aproveitamento do descarte da construção civil em benefício ao meio ambiente. O uso deste material miúdo oriundo de RCD propicia o incremento de resistência e ganho ambiental em relação à mistura AAUQ convencional (sem areia alternativa), verificado pelo Grupo de Geotecnia (Bertoldo *et al.*, 2010) e Oliveira *et al.* (2010).

Relativo ao rejeito agrícola estudou-se a inclusão da fibra do fruto do açaí, obtido da palmeira *Euterpe Oleracea*, de grande influência na economia da região norte do Brasil, pois segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foram produzidas, nesta região e alusivo ao ano de 2009, 106.296 toneladas desse fruto, representando 91,67 % da produção nacional, o qual 10 % deste volume são aproveitados pela indústria alimentícia e 90 % resulta em rejeito, formado por caroços com presença de tufo de tecido fibroso (Aguiar e Mendonça, 2003) destinados, principalmente, ao comércio de artesanato amazônico ou a fabricação de papéis. Pertinente à fibra, caracteriza-se por uma superfície irregular, com cavidades e relevos, apresentando absorção de 8,0(2,0) % e módulo de elasticidade igual a 0,57(0,27) GPa (Fagury, 2005), além de boa estabilidade térmica até 230 °C (Martins *et al.*, 2009), compatível com a temperatura tanto de confecção em usina como de espalhamento em campo das misturas asfálticas.

Concernente aos ligantes asfálticos modificados adicionou-se separadamente polímeros do tipo elastômero (Copolímero de etileno e acetato de vinila – EVA) e

elastômero (Copolímero de estireno e butadieno – SBS) com a finalidade de promover a rigidez e a flexibilidade, respectivamente.

De acordo com D'Antona & Frota (2011), o polímero EVA favorece ao ligante menor suscetibilidade à deformação permanente e o polímero SBS, segundo trabalhos realizados pelo Grupo de Geotecnia em 2010 (Bertoldo *et al.*, Cavalcante *et al.*, e Silva *et al.*) e Hirsch, (2007), proporciona melhorias na flexibilidade do asfalto, apontando contribuição significativa no aumento da resistência à tração.

Neste contexto, a fim de avaliar o comportamento mecânico das misturas areia-asfalto com fibra de açaí, Areia RCD, Areia Manaus e cimento asfáltico de petróleo modificado por EVA e SBS, as mesmas foram ensaiadas quanto à resistência à tração por compressão diametral (RT) e determinado o módulo de resiliência (MR), conforme normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e da *the American Society for Testing and Materials* – ASTM, respectivamente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são discutidos a caracterização dos materiais e os procedimentos necessários para a realização dos ensaios mecânicos.

2.1 Agregados miúdos e filer

Para a composição mineral do compósito areia-asfalto, foram usadas duas areias como material miúdo, uma nomeada como Areia Manaus e outra alternativa titulada como Areia RCD, e como filer (material de enchimento) o cimento *portland* – CPII-Z-32. O agregado miúdo convencional constituiu-se de uma areia residual comercializado no município de Manaus (Areia Manaus), proveniente do Município de Manacapuru e delimitado nas coordenadas do leito do Rio Manacapuru P₁ 03°08'45,40"S e 60°54'22,87"W, P₂ 03°08'47,70"S e 60°54'20,58"W, P₃ 03°08'56,91"S e 60°54'29,74"W, e P₄ 03°08'58,61"S e 60°54'32,03"W. O agregado miúdo alternativo, Areia RCD, foi proveniente da parte remanescente da britagem de resíduos de construção e de demolição coletados das obras na cidade de Manaus, originário do descarte de material demolido de fundações, pilares, vigas e lajes de concreto de cimento *Portland*. A caracterização desses materiais realizou-se no Laboratório do Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), de acordo com as Normas da *the American Society for Testing and Materials* – ASTM e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

2.2 Fibra do açaí

As fibras do mesocarpo e caroço do açaí, conforme Figura 1, são atrativas como objetos de estudos por se tratarem de rejeito industrial, e também: a) podem ser usadas em compósitos, onde as suas irregularidades superficiais

contribuem para uma melhor interação com a matriz, ao mesmo tempo em que a sua pequena densidade produz uma mistura com menor peso (Fagury, 2005); b) apresentam boa estabilidade térmica até 230 °C, com comportamento térmico semelhante ao das principais fibras naturais já usadas industrialmente, abrindo perspectivas promissoras para sua utilização (Martins *et al.*, 2009); e c) incrementam de forma satisfatória a resistência à tração de compósito fibrocimentícios (aproximadamente 13 % em média), com a melhoria das propriedades mecânicas com as fibras in natura no teor de 0,3 %, embora um aumento do teor deste material ocasiona um acréscimo da absorção de água e da porosidade aparente, bem como a diminuição da massa específica (Lima Junior, 2007).

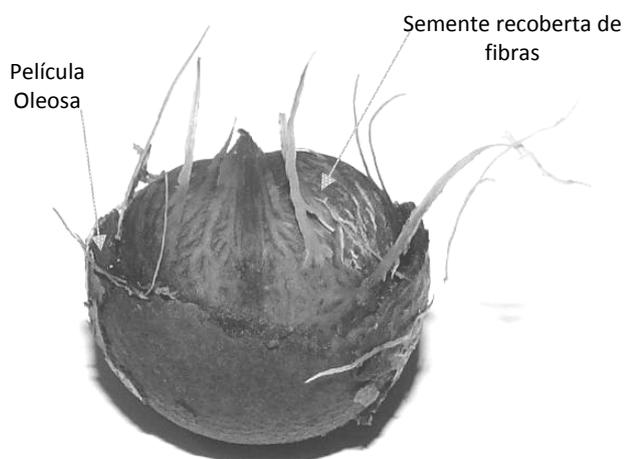


Figura 1. Fruto Açaí Parcialmente Despolido

As amostras do resíduo do fruto açaí foram adquiridas na fábrica de despoldamento “Açaí de Codajás”, localizada no bairro Petrópolis na cidade de Manaus. Tal material é proveniente da cidade de Codajás, situada a 240 km da capital do Estado do Amazonas. Ao chegarem ao laboratório do GEOTEC foram expostos ao ar visando perda da umidade, e na sequência se extraíram as fibras por meio de dois processos por peneiramento: a) separação das fibras e das sementes, e b) retirada de partículas das cascas das frações fibrosas utilizando a peneira de 150 micromilímetros.

2.3 Cimento asfáltico de petróleo

Neste trabalho empregaram-se os cimentos asfálticos de petróleo: puro, classificado como CAP 50/70, e modificado pelo Copolímero de etileno e acetato de vinila, denominado como CAP EVA, e pelo Copolímero de estireno e butadieno, chamado de CAP SBS.

O polímero EVA de nome comercial EVAX[®], fabricado pela DuPont, foi escolhido por se tratar de um plastômero que dependendo da proporção de teor de acetato pode alterar a viscosidade do ligante sem variar as propriedades elásticas (D’Antona, 2009).

Concernente ao polímero SBS, a adição deste ao CAP 50/70, consoante Rodrigues (2010), ocasiona melhor desempenho que o ligante não modificado relativo aos

parâmetros reológicos, representado pelo grau de desempenho, e, segundo Silva (2005), mostra maior resistência ao afundamento nas trilhas de roda e durabilidade.

A modificação do ligante ocorreu pelo aquecimento do CAP 50/70 e posterior adição dos polímeros, utilizando um béquer de 5 litros inserido em uma manta aquecedora a fim de mantê-lo em temperatura de 150(5) °C sob agitação constante de 300 rpm por 2 horas, como indicam as Figuras 2-a e 2-b. Os polímeros EVA e SBS foram aditados, respectivamente, na razão de 4 % e 2 % do peso total de CAP 50/70. Caracterizaram-se tais ligantes, puros e modificados, segundo a ASTM no Laboratório da Refinaria Isaac Sabbá, localizado na cidade de Manaus.



Figura 2-a. Inserção de 4 % do Polímero EVA no CAP 50/70



Figura 2-b. Inserção de 2 % do Polímero SBS no CAP 50/70

2.4 Ensaio Mecânicos

Corpos de prova nos teores de projeto foram confeccionados para os ensaios de Resistência à Tração (RT) e Módulo de Resiliência (MR) sob os preceitos das normas do DNIT 136/2010-ME e ASTM D4123/AASHTO TP-31-96, respectivamente. No tocante ao ensaio de MR, os corpos de prova foram submetidos à temperatura de 40 °C, figurativa da região Norte do Brasil, e ao carregamento de 5 %, 10 % e 15 % da maior força axial alcançada por tal mistura no ensaio de RT. Por fim, determinaram-se os valores dos parâmetros RT e MR pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$\sigma_r = \frac{2F}{100\pi Dh} \quad (1)$$

Onde:

σ_r – Resistência à tração, em MPa

F – Carga de ruptura, em N

D – Diâmetro do corpo de prova, em cm

h – Altura do corpo de prova, em cm

$$E = \frac{P}{\Delta h} (v + 0,2699) \quad (2)$$

Onde:

E – Módulo de resiliência, em MPa

P – % da Força axial da resistência à tração, em N

Δ – Deslocamento medido, em mm

h – Média da altura do corpo de prova, em mm

v – Coeficiente de Poisson

3 RESULTADOS

Nesta seção são mostrados os resultados encontrados nos ensaios mecânicos.

3.1 Caracterização das areias (MANAUS e RCD)

Caracterizaram-se os agregados miúdos pelas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e da *the American Society for Testing and Materials* – ASTM. A granulometria destes materiais, apresentadas na Figura 3, constata que a Areia RCD tem percentual menor da fração fina comparativamente a Areia Manaus. Quanto ao material pulverulento, cujos valores são expostos na Tabela 1, a Areia Manaus com maior percentual de finos não propiciou um maior teor do citado parâmetro, ou seja, maior quantidade de partículas com dimensões menores que 0,075 mm incluindo os solúveis em água. De forma diferente, a Areia RCD se comportou como um material de difícil separação dos pulverulentos, possivelmente pela sua fração cimentícia derivada dos resíduos britados de concreto de cimento, resultando em um valor mínimo igual a 5,43 %, como se observa nas Figuras 4-a e 4-b.

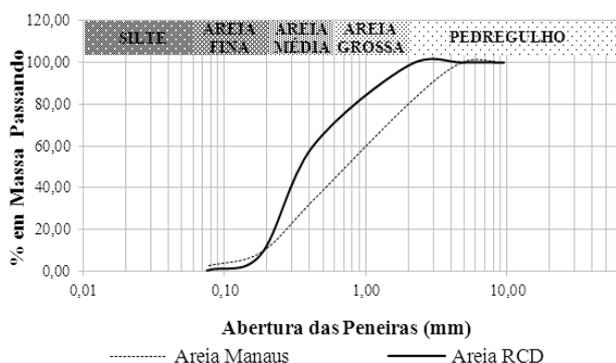


Figura 3. Granulometria da Areia Manaus e Areia RCD

Tabela 1. Caracterização dos Agregados Miúdos

Características	Método	Areia Manaus	Areia RCD
Densidade Real	ME 084	0,519	0,358
Massa Específica (kg/m ³)	ME 194	2606	2,370
Massa Específica Solta (kg/m ³)	C 29	1640	1,506
Massa Específica Compactada (kg/m ³)	C 29	1814	1,656
Equivalente de Areia (%)	D 2419	92,80	-
Teor de Materiais Pulverulentos (%)	ME 266	0,147	> 5,43



Figura 4-a. Teor de Material Pulverulento da Areia Manaus



Figura 4-b. Teor de Material Pulverulento da Areia RCD.

3.2 Caracterização do filer

Para o preenchimento dos vazios presentes entre os agregados da mistura do tipo AAUQ, incorporou-se um material quimicamente inerte e de partículas granulometricamente delimitadas em norma, com o objetivo de proporcionar um contato pontual entre os agregados. Neste trabalho optou-se por usar o cimento *portland* – CP II-Z-32, usualmente comercializado em Manaus, com granulometria apresentada na Figura 5 e valor característico de densidade real igual a 3,12.

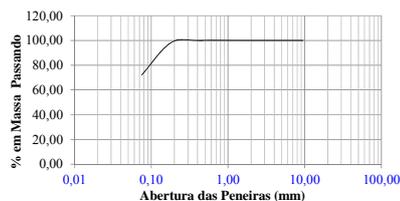


Figura 5. Granulometria do Cimento *Portland*

3.3 Caracterização da fibra do açai

Em análise física quanto ao comprimento médio da fibra do açai, mostrada na Figura 6, determinou-se o valor médio de 0,90 cm, o qual Fagury (2005) indicou, por meio de trena e amostragem com auxílio de um Microscópio Ótico (MO), um resultado igual a 2,2(0,87) cm, sendo esta menor relativa à fibra do coco (13,2(9,5) cm) e a fibra da juta (10 cm). Destaca-se também como fator de escolha de fibras para uso em compósitos a presença da lignina, visto que Passos (2005) declara que a mesma une as fibras celulósicas formando a parede celular, fornecendo, por conseguinte, resistência à compressão ao tecido celular e às fibras. Igualmente, sua concentração influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade e a taxa de hidrólise nas fibras. Dessa forma assina-se a fibra do açai com 11(5,2) % de lignina (Fagury, 2005) superior às fibras de sisal com 9,9 % (Medina, 1959), inferior às fibras de coco com 35-45 % (Noguera *et al.*, 1998 apud Carrijo *et al.*, 2002) e da castanha de cutia com 33,26 % (Cunha, 2011).

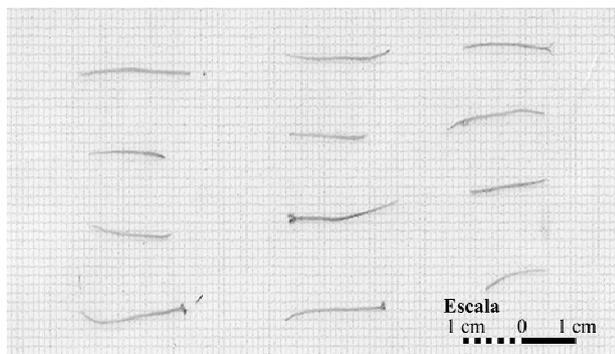


Figura 6. Comprimento das Fibras de Açai

3.4 Caracterização ligante betuminoso

Foram ensaiados no Laboratório da Refinaria Isaac Sabbá – REMAN os cimentos asfálticos de petróleo: puro (CAP), modificado com 4 % de polímero EVA (CAP EVA) e modificado com 2 % de polímero SBS (CAP SBS). Obtiveram-se os resultados demonstrados nas Tabelas 2 e 3, segundo as normas da *the American Society for Testing and Materials* – ASTM. Os dados das referidas tabelas indicam que os cimentos asfálticos pesquisados atendem às especificações brasileiras regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), notando-se que a inclusão dos

polímeros SBS e EVA proporcionou redução da Penetração em torno de 42,75 % e um aumento da Viscosidade, ou seja, tornou o CAP mais consistente.

Tabela 2. Caracterização dos Ligantes Betuminosos

Características	Método	Unid	CAP 50/70	CAP EVA	CAP SBS
Penetração	D5	0,1 mm	69	41,5	39,5
Ponto de amolecimento	D36	°C	49,7	60,2	52,5
Ductilidade	D113	cm	> 100	26,5	41,5
Ponto de fulgor	D92	°C	318	321,0	324
Solubilidade em tricloroetileno	D2042	% massa	99,9	99,5	99,7
Densidade relativa a 20/4C	D70	N/A	0,998	1,00	0,994

Tabela 3. Viscosidades e Parâmetros (após Envelhecimento) dos Ligantes Betuminosos

Características	Método	Unid	CAP 50/70	CAP EVA	CAP SBS
Viscosidade Saybolt Furol a 135 C	E 102	s	283	596,4	300,78
Viscosidade Brookfield a 135 C	D4402	cp	539	119,05	870
Viscosidade Saybolt Furol a 150 C	E 102	s	140,7	306,9	149,38
Viscosidade Brookfield a 150 C	D4402	cp	279,8	809,05	401,36
Viscosidade Saybolt Furol a 177 C	E 102	s	50,8	125,1	56,97
Viscosidade Brookfield a 177 C	D4402	cp	96,8	232,6	158,64
RTFOT variação em % massa	D2872	%	0,04	0,02	0,075
RTFOT aumento do ponto de amolecimento	D36	°C	7,1	70,05	9,3
RTFOT penetração retida	D5	%	63	24,9	27,1

3.5 Definições das dosagens

Pela norma DNIT 032/2005-ES, referente às misturas areia-asfalto (AAUQ), delimita-se o teor de ligante betuminoso de 6 % a 12 %. A partir destes valores de CAP e do enquadramento granulométrico da fração mineral (agregados e filer) expostos na Figura 7, confeccionaram-se os corpos de prova nas composições presentes na Figura 8, onde se determinaram os parâmetros volumétricos, quais sejam: o volume de vazios (Vv) e a relação betume/vazios (RBV). De posse dos citados valores foram construídos os gráficos Teor de CAP x Vv x RBV, demarcando os teores de ligante respectivos aos limites máximos e mínimos de Vv e RBV, o qual da média destes teores calculou-se o teor dito “ótimo”, estabelecendo-se, então, a dosagem das misturas pesquisadas a serem submetidas aos ensaios mecânicos.

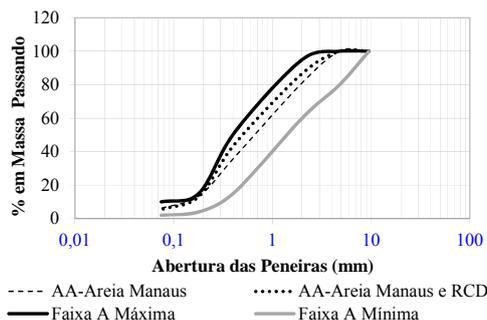


Figura 7. Enquadramento da Fração Mineral na Faixa A do DNIT

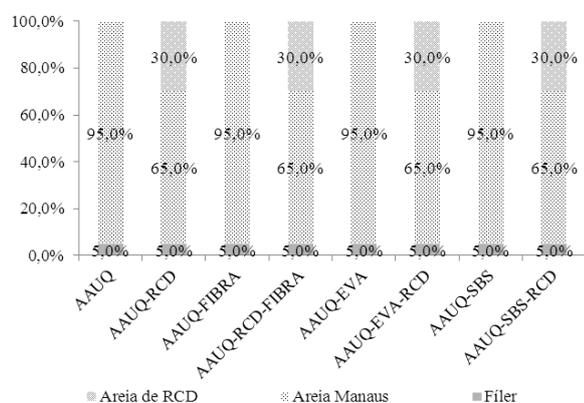


Figura 8. Composição das Misturas

No tocante a execução da mistura dos participantes, esta se realizou seguindo os procedimentos da norma DNIT para areia-asfalto. Entretanto, para aqueles com a fibra do açai, fez-se a sua incorporação (0,5 % do peso total do compósito asfáltico) na fração seca aquecida da mistura, sendo inserida com auxílio de uma peneira e, portanto, antecedente a pesagem do CAP (Figura 9), para posterior homogeneização. Tal procedimento foi balizado por precedentes testes de aquecimento das fibras do açai em conjunto com os agregados e filer, do qual mesmo com tolerância de perda de massa até 230 °C (Martins *et al.*, 2009), observou-se sua descaracterização visual neste aquecimento. Pretendendo simular o envelhecimento ocasionado pela produção, transporte e aplicação das misturas asfálticas, todos os compósitos foram submetidos à temperatura de 170 °C por 2 horas em estufa, antes da compactação dos corpos de prova.

Relativo aos teores ótimos, descritos na Figura 10, visualiza-se o aumento do teor de ligante para enquadramento volumétrico nas misturas com fibra do açai. Tal resultado justifica-se pela baixa densidade do material, acarretando uma elevada superfície específica, o qual proporciona maior volume de vazios a serem preenchidos pelo CAP. No entanto, quando a Areia RCD participa do compósito nota-se uma redução no teor de projeto de até 2,51 %, porém, com variação irrisória nas misturas com fibra de açai, pois estas absorvem o ligante

asfáltico resultando em um esqueleto com cobertura mais espessa de CAP.



Figura 9. Pesagem do CAP na Mistura com Fibra do Açai

Concernente aos compósitos com polímero, a mistura com CAP EVA solicitou uma maior quantidade deste para recobrimento dos agregados. Tal constatação pode ser verificada pela mudança de viscosidade perante a adição de 4 % de EVA, proporcionando uma maior consistência, que combinado com um material de elevada superfície específica resultou um maior teor de ligante — exemplificado pela mistura com Areia Manaus de granulometria mais fina. Em contrapartida, a presença do polímero SBS conferiu um menor teor de ligante à mistura, pois conforme os ensaios de caracterização o CAP SBS é mais viscoso que o CAP puro e menos viscoso relativo ao CAP EVA, apresentando um valor de viscosidade favorável à viabilidade econômica do conjunto.

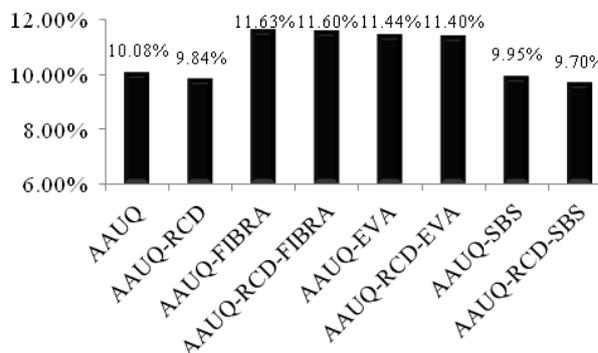


Figura 10. Teor “Ótimo” de CAP das Misturas Asfálticas

3.6 Comportamento mecânico

Os corpos de prova, confeccionados com os materiais dispostos nas Figuras 8 e 10, foram submetidos aos ensaios de resistência à tração por compressão diametral (RT) e módulo de resiliência (MR). Os resultados de RT e MR estão descritos, respectivamente, nas Figuras 11 e 12, comparativamente aos apresentados na literatura pesquisada.

Concernente ao ensaio de Resistência a Tração, se nota o aumento de tal resistência na incorporação do agregado miúdo de RCD, possivelmente devido à contribuição da sua fração cimentícia para a interação agregado-ligante,

conduzindo a melhores propriedades mecânicas. Igualmente na citada figura tem-se que a inserção da fibra de açai reduziu a resistência à tração em média 18,47 %, devido sua característica morfológica (baixa espessura e pequeno comprimento) não atuar como elementos de reforço frente às solicitações estáticas, por conseguinte se comportando como uma matriz com vazios, ou seja, acarretando um não entrosamento entre o agregado e o material betuminoso.

A modificação do ligante pelo polímero EVA diminuiu o valor da RT em até 14,26 % nas misturas areia-asfalto estudadas, ocasionando o não enquadramento da mistura AAUQ-EVA, alusiva aos parâmetros constantes na norma DNIT 032/2005-ES. Todavia, tal compósito mostrou um melhor comportamento quando se acrescentou a Areia RCD, a despeito do seu potencial de absorção. Por outro lado, o compósito com CAP SBS apresentou melhores resultados frente aos esforços mecânicos submetidos, ou seja, aumento da RT em 36,10 % comparado à mistura tradicional (sem areia alternativa) e 56,80 % concernente ao compósito com a inserção do agregado miúdo de RCD.

Contudo, os resultados da Resistência à Tração determinados, com exceção das misturas AAUQ-FIBRA e AAUQ-EVA, encontram-se acima de valores dispostos na literatura, como, por exemplo, da mistura AAUQ com 0,5 % de Fibra Metálica (Bento & Carvalho, 2006), bem como o compósito AAUQ com 15 % de cinza volante como Filer e 9 % de CAP 50/60 constante em Dias (2004).

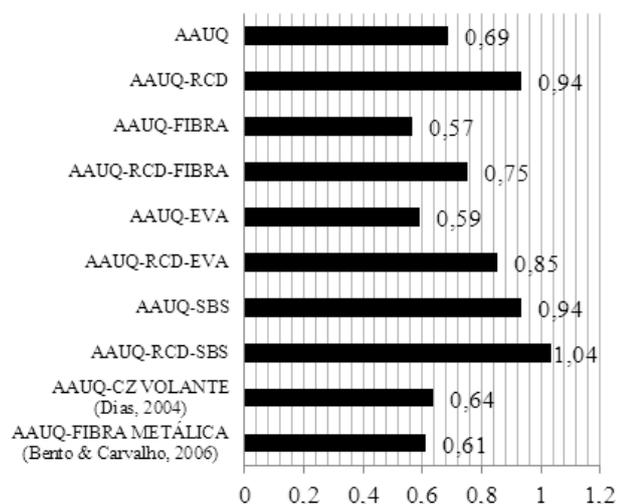


Figura 11. Resistência à Tração (MPa) das Misturas Areia-Asfalto

O módulo de resiliência das misturas asfálticas denota as características de elasticidade oriunda da interação dos materiais quando sujeitas a carregamentos cíclicos, o qual simulam as solicitações do tráfego. Neste ensaio verificou-se que as misturas com Areia RCD apresentaram maiores valores relativos aos compósitos com Areia Manaus. Todavia, os mais baixos valores de MR foram alusivos à mistura com AAUQ-FIBRA e sem areia alternativa, seguida dos compósitos AAUQ-SBS e AAUQ.

Sob outro prisma, confrontando os compósitos com asfaltos poliméricos certifica-se que o CAP EVA, apesar

de ter reduzido a RT, elevou o valor do MR. Comportamento contrário ao das misturas com CAP SBS que apresentaram MR menores quando analisados ante os compósitos com CAP EVA. Igualmente com referência a Figura 12, os maiores resultados do módulo de resiliência procederam das misturas asfálticas com o polímero EVA, relativas aos compósitos com SBS, resultado corroborado pela literatura para misturas do tipo concreto asfáltico — Rodrigues (2010) e Alencar *et. al.* (2008). Tal fato pode ser justificado pelo comportamento favorável do polímero EVA em apresentar na mistura uma estabilidade coloidal entre os componentes, quando correlacionado ao ligante asfáltico puro ou modificado por SBS (Bringel, 2007 e Rodrigues *et al.*, 2009).

Por fim, a inserção da fibra de Açai reduziu os resultados de RT e MR. Tal constatação é abordada por Neves Filho *et al.* (2004), onde explicitam que as fibras, geralmente, não têm influência sobre o desempenho da mistura depois da compactação, embora possibilitem um maior teor de ligante a mistura, o que gera uma película mais espessa ao redor do agregado, ocasionando: retardo na oxidação e na penetração de umidade, além de minimizar a separação dos agregados, proporcionando um aumento da resistência ao desgaste do concreto asfáltico produzido.

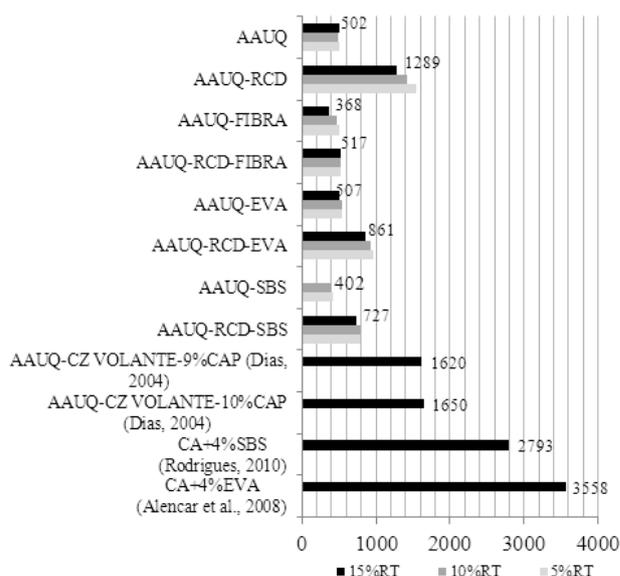


Figura 12. Módulo de Resiliência (MPa) das Misturas Areia-Asfalto

4 CONCLUSÕES

Estudaram-se as propriedades mecânicas de misturas asfálticas do tipo areia-asfalto com areia residual (AAUQ), agregado miúdo de resíduo de construção e demolição (AAUQ-RCD), fibra de açai (AAUQ-FIBRA e AAUQ-RCD-FIBRA), e ligantes asfálticos modificados por polímeros EVA ou SBS (AAUQ-EVA, AAUQ-SBS, AAUQ-RCD-EVA e AAUQ-RCD-SBS). Concernente aos compósitos descritos, concluiu-se:

- Quanto à inserção das fibras de Açai

Proporcionou maior interação agregado-ligante pelo espesso recobrimento das superfícies dos agregados minerais, devido à absorção de maiores teores de cimento asfáltico de petróleo 50/70. Por sua vez, os resultados mecânicos não mostraram adequado desempenho, fazendo-se necessário estudar processos de tratamento para as fibras a fim de melhorar as respostas mecânicas, uma vez que tal material encontra-se amplamente descartado pela indústria do fruto do açaí. No entanto, vale salientar que tal compósito com a presença da areia de RCD acarretou parâmetros mecânicos satisfatórios.

b) Quanto a areia de RCD

As misturas com areia de resíduos de construção e demolição apresentaram discreta redução no teor de ligante, possivelmente pela pequena redução na superfície específica, expressa pela granulometria do material em questão. Contudo, em confronto com os compósitos ausentes deste agregado, as misturas com areia de RCD conferiram altos valores da resistência à tração e do módulo de resiliência, denotando melhora do compósito no tocante a resistir a maiores tensões de tração com menores deformações, colaborando para uma alternativa técnico-ambiental, uma vez que se trata de um material ainda pouco utilizado pelo mercado da construção civil.

c) Quanto ao ligante modificado pelo polímero EVA

O uso do CAP-EVA resultou em maiores teores de ligante comparativamente as misturas AAUQ e AAUQ-RCD com CAP 50/70. De fato, notou-se que a composição asfáltica com polímero EVA reduziu os valores de resistência à tração, porém não inferiores às misturas com fibra do açaí. Todavia, o módulo de resiliência resultou em maiores resultados perante aos compósitos, excetuando-se a mistura AAUQ-RCD, indicando a flexibilidade proporcionada pelo CAP-EVA.

d) Quanto ao ligante modificado pelo polímero SBS

A associação do polímero SBS ao CAP 50/70 conduziu a baixo consumo de asfalto na mistura, bem como maiores incrementos de resistência à tração, seguidos de pequenos valores dos módulos de resiliência. Diante de tal comportamento pode-se inferir o ganho de rigidez para a mistura AAUQ com uso do CAP-SBS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Madalena Otaviano; MENDONÇA, Maria Sílvia de. Morfo-anatomia da semente de Euterpe precatoria Mart. (Palmae). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 37-42, 2003.

ALENCAR, A. E. V.; A. JÚNIOR, P. C.; NASCIMENTO, D. R.; SOARES, J. B.; SOARES, S. A. Efeito da Adição do Líquido da Casca da Castanha de Cajú (LCC) nas Propriedades de Ligantes Asfálticos Modificados com

EVA. In: Reunião Anual de Pavimentação Urbana, 39, 2008, **Anais...** Recife, 2008.

BENTO, Priscila Fiochi; CARVALHO, José Camapum de. Resistência a Tração de Areia Asfalto Usinada a Quente (AAUQ) com adição de fibras metálicas. In: Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias, 5, 2006, Recife, **Anais...** Recife: 2006.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**, Petrobras-Asfaltos, Rio de Janeiro, 2008.

BERTLDO, R. A.; SOUZA, R. J. Q.; CUNHA, T. M. F.; FROTA, C. A. Estudo da influência do polímero SBS na resistência à tração de misturas asfálticas utilizando areia de resíduos sólidos de construção e demolição – RCD e areia tradicional para o município de Manaus-AM. In: Congresso de Infraestrutura de Transportes, 4, 2010, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ANDIT, 2010.

BRINGEL, Raquel Moraes. **Estudo Químico e Reológico de Ligantes Asfálticos Modificados por Polímeros e Aditivos**. 2007. 174f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química Inorgânica, Universidade Federal do Ceará. Ceará, 2007.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, dez. 2002.

CAVALCANTE, D. G.; SOUZA, R. J. Q.; CUNHA, T. M. F.; FROTA, C. A. Estudo da Resistência à Tração de Misturas Asfálticas Utilizando Ligante Modificado com SBS e Agregados Sinterizados de Argila Calcinada para Construção das Vias Urbanas de Manaus-AM. In: Congresso de Infraestrutura de Transportes, 4, 2010, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ANDIT, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2010**. 2010. Disponível em:

<<http://www.sistemacnt.org.br/pesquisacntrodovias/2010>>. Acesso em: 04 mar. 2011.

CUNHA, Tayana Mara Freitas da. **Estudo do Comportamento Físico, Químico e Reológico de Ligante Asfáltico Modificado com Polímero e Materiais Advindos de Plantas Amazônicas para Aplicação em Revestimentos Asfálticos**. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

D'ANTONA, Daniela M. G.; FROTA, Consuelo A. da. Estudo de Misturas Asfálticas com Ligante Modificado pelo Polímero EVA para Pavimentos Urbanos de Manaus – AM. **Revista Polímeros**, v. 21, n. 1, p. 13-18, 2011.

D'ANTONA, Daniela M. G. **Estudo de Misturas Asfálticas com Ligante Modificado por Polímero EVA e Resíduo da Construção CIVIL para as vias urbanas de Manaus**. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

DIAS, Cláudio Renato Castro. **Estudo de misturas de areia-asfalto e cinza-cal para emprego em pavimentos urbanos**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Programa

- de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- FAGURY, Régia Vânia G. **Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: Açaí, coco e juta**. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.
- HIRSCH, Fábio. **Estudo do Comportamento de Misturas Asfálticas Preparadas com Diferentes Tipos de Ligantes**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal da Silvicultura 2009**. Tabela 2: Quantidade e valor dos produtos da extração vegetal, por produtos, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2009/tabelas_pdf/tab02.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2011.
- LIMA JÚNIOR, Ubirajara Marques. **Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe Oleracea Mart.*): Avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; PESSOA, J. D. C. Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 1150-1157, dez. 2009.
- MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial. Seção de plantas fibrosas**, IAC – Campinas, p. 289-314, 1959.
- NEVES FILHO, C. L. D.; BERNUCCI, L. B.; FERNANDES JÚNIOR, J. L. **Avaliação de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha quanto ao módulo de resiliência, a resistência à tração e fadiga**. In: 17^º. Encontro de Asfalto, v. 1, p. 128-136. Rio de Janeiro, 2004.
- OLIVEIRA, B. C.; BERTOLDO, R. A.; SOUZA, R. J. Q.; MUNIZ, D. G. D.; FROTA, C. A. Utilização de Resíduos de Construção (RCD) e Ligante Modificado com SBS em Misturas Asfálticas para a Cidade de Manaus-AM. In: Reunião Anual de Pavimentação, 40, 2010, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: ABPv, 2010.
- PASSOS, Paulo Roberto de Assis. **Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 166 f. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- RODRIGUES, F. O.; ALENCAR, A. E. V.; COSTA, F. M. L.; SOARES, J. B.; SOARES, S. A. Investigação das Propriedades Reológicas de Ligante Asfáltico Modificado por SBS e EVA com Adição de LCC. In: Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço, 4, 2009, Ceará, **Anais...** Associação Brasileira de Pavimentação. Ceará, 2009.
- RODRIGUES, Fabíola Odete. **Efeito do Líquido da Castanha do Caju (LCC) nas Propriedades Reológicas do Ligante Asfáltico Modificado por SBS**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2010.
- SARGES, R. R.; NOGUEIRA, A. C. R.; FROTA, C. A.; SILVA, C. L. **Depósitos argilosos Cenozóicos do estado do Amazonas: utilização como agregados de argilas calcinadas para pavimentações na região Amazônica**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium. 16 out. 2010. p. 33-49.
- SILVA, L. C. P.; SOUZA, R. J. Q.; CUNHA, T. M. F.; FROTA, C. A. Avaliação da Resistência à Tração de Misturas Asfálticas Utilizando Agregado Regional e Ligante Modificado com SBS para Manaus, AM. In: Congresso de Infraestrutura de Transportes, 4, 2010, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ANDIT, 2010.
- SILVA, Patrícia Barboza. **Estudo em Laboratório e em Campo de Misturas Asfálticas SMA 0/8S**. 2005. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- SILVEIRA, Marcio Albuquerque. **Estudo sobre adição de polímero em areia-asfalto a frio**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.