

USO DE PASSIVOS AMBIENTAIS PARA A PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS EM MANAUS, AM

USE OF ENVIRONMENTAL WAST FOR PAVING URBAN ROADS IN MANAUS, AM

Lídici Pomin de Simas¹, Patrícia de Magalhães Aragão Valença², Marcos Raiker Printes Ferreira³ e Consuelo Alves da Frota⁴

Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Grupo de Geotecnia (GEOTEC)
Avenida General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Coroado, Manaus, AM

¹Aluna de graduação em Engenharia Civil e bolsista de Iniciação Científica,
E-mail: lidicipomin@hotmail.com

²Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia (PPG-ENGRAM),
E-mail: patriciamavalenca@hotmail.com

³Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia (PPG-ENGRAM),
E-mail: ferreira_mrp@hotmail.com

⁴Coordenadora do GEOTEC – UFAM
E-mail: cafrota@ufam.edu.br

RESUMO

Devido ao alto custo da pedra britada em Manaus, as obras de pavimentação são executadas, em geral, com misturas asfálticas do tipo areia asfalto e com material argiloso na camada de base, o que tem resultado no aparecimento de diferentes patologias nas vias urbanas da cidade. Este estudo aponta alternativas para a pavimentação manauara por meio da utilização de resíduos industriais. Utilizou-se um revestimento com areia de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), modificado pelo polímero estireno e butadieno (SBS). Particularmente, comparou-se o comportamento mecânico das misturas frente ao compósito usual (areia residual e CAP 50/70 puro), por meio dos ensaios de Resistência à Tração (RT) e Módulo de Resiliência (MR). Adicionalmente, para contribuir com a solução de problemas relacionados às subcamadas, acrescentou-se, ao solo argiloso, a cal de carbureto (subproduto da fabricação do gás acetileno) e analisou-se seu desempenho pela Resistência à Compressão Simples (RCS). Os resultados mostraram que, para a mistura asfáltica, a inclusão do polímero SBS aumentou a RT, enquanto a areia de RCD proporcionou valores mais elevados, tanto de RT quanto de MR. Em complemento, a adição da cal de carbureto ao solo reduziu o Índice de Plasticidade e aumentou a RCS.

Palavras-chave: Passivo ambiental, RCD, cal de carbureto, polímero SBS, estabilização química.

ABSTRACT

Due to the high cost of crushed stone in Manaus, the construction of pavements is executed usually with asphalt sand mixtures and clay material in the base course, which has resulted in the appearance of different pathologies in the urban streets of the city. This study aims to identify alternatives for the pavements of the Manaus city by the use of industrial waste. A binder course with sand from construction residue (WCD) and asphalt cement (AC) modified by styrene and butadiene polymers (SBS) was used. Particularly, it was compared the mechanical behavior of the mixtures with the usual composite (residual sand and pure AC 50/70), through the Tensile Strength (TS) and the Resilience Module (RM). Additionally, in order to contribute to the solution of problems related to the sub layers, carbide lime (by-product from the manufacture of acetylene gas) was added to the clay soil and its performance was analyzed by Unconfined Compression Test (UCT). The results have shown that for the asphalt mixture, the inclusion of SBS polymer increases the TS, while WCD sand gave higher values both for TS and RM. Furthermore, the addition of carbide lime to soil decreases the plasticity index and enhances the UCT.

Keywords: Industrial waste, WCD, carbide, SBS polymer, chemical stabilization.

1 – INTRODUÇÃO

Manaus, capital do Amazonas, tem o sexto maior PIB do País decorrente, notadamente, do Polo Industrial de Manaus (PIM), que é responsável por movimentar grande parte da economia do município (IBGE, 2009). O sistema viário, um dos meios de escoamento dessa produção, deveria proporcionar conforto, trafegabilidade e segurança aos usuários. Porém, o que se apresenta são pavimentos, em geral, em precárias condições de utilização. Esse fato

pode ser associado às características geotécnicas particulares do município da Manaus – subsolo constituído pela predominância de uma espessa camada argilosa, que evidenciam a escassez de jazidas de material pétreo superficial (BENTO; FROTA, 1998). Utilizam-se, então, para proporcionar uma redução de custos, revestimento e subcamadas sem a participação do agregado graúdo. Porquanto, a matéria-prima para a obtenção desse material pétreo ocorre, em geral, longe dos centros populacionais, caso de Manaus, distando mais de 200 km (SARGES *et al.*,

2010), favorecendo, portanto, o emprego de soluções normalmente inadequadas à pavimentação.

Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo propiciar alternativas à construção de pavimentos por meio do estudo de resíduos industriais para construção de base, sub-base e revestimento, objetivando soluções técnicas, econômicas e ambientais.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção será apresentada em duas etapas, segundo os passivos ambientais estudados, quais sejam os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para o revestimento e o resíduo da fabricação do gás acetileno (cal de carbureto), visando às subcamadas.

1ª etapa: Alternativa para subcamadas

Dois materiais foram utilizados nesta etapa. O solo argiloso do tipo residual, representativo da região, constituído basicamente por caulinita e quartzo, que foi coletado no Campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Como segundo material participante, a cal de carbureto (CC), adquirida em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. Misturou-se ao solo regional o mencionado subproduto nas porcentagens de 2% e 4%, visando uma estabilização química.

Os materiais e as misturas foram caracterizados por meio de ensaios físicos e mecânicos. No primeiro caso foram realizadas a análise granulométrica (ABNT NBR 7181:1988), limite de liquidez (ABNT NBR 6459:1984), limite de plasticidade (ABNT NBR 7180:1984), determinação da massa específica (ABNT NBR 6508:1984), e compactação – energia intermediária (ABNT NBR 7182:1988). O comportamento mecânico foi analisado pela Resistência à Compressão Simples (RCS) utilizando uma *Universal Testing Machine* (UTM 14), segundo corpos de prova (CP) cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, moldados segundo os parâmetros de compactação — umidade ótima e massa específica aparente seca máxima. Foi simulado o período de tempo em campo (cura), submetendo-se o solo natural e as misturas a uma temperatura de 110 °C por um período de 2 horas em estufa.

2ª etapa: Alternativa para o Revestimento

Foram estudadas, pelo método Marshall, misturas asfálticas do tipo areia asfalto usinada a quente com: a) asfalto comercializado na região com a inserção da areia residual local (AAUQ) e da areia de resíduo de construção (AAUQ-RCD); e b) asfalto modificado pelo polímero SBS acrescentando a areia residual Manaus (AAUQ-SBS) e areia de RCD (AAUQ-RCD-SBS). Tais compósitos tiveram suas granulometrias (mineral) enquadradas na faixa A do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). As areias comercializadas no município, identificadas como Areia Manaus, e a proveniente de britagem de resíduos sólidos de construção e demolição, denominada Areia de RCD, foram

caracterizadas no Laboratório de Solos do Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Amazonas. Conforme as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da *American Standard Testing Method* (ASTM) foram determinadas a granulometria, equivalente de areia, densidades relativas (real e aparente) e massas específicas (solta e compactada). Como fíler utilizou-se o cimento *portland* composto (CP II-Z-32), produzido no Polo Industrial local, caracterizado pela textura e densidade.

Como ligantes, o cimento asfáltico de petróleo tradicional (CAP 50/70), produzido pela Refinaria Isaac Sabbá (REMAN) em Manaus, e o referido material betuminoso modificado pela adição do copolímero de estireno-butadieno-estireno (CAP-SBS), ambos caracterizados de acordo com as normas da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Particularmente, classifica-se o CAP-SBS como elastômero termoplástico – material que, a baixas temperaturas, apresenta comportamento elástico, porém quando a temperatura aumenta passa a apresentar comportamento termoplástico (BERNUCCI, 2008). A modificação desse ligante ocorreu pelo aquecimento do CAP 50/70 e posterior adição do polímero na razão de 2% em um béquero de 5 litros, inserido em uma manta aquecedora, a fim de mantê-lo em temperatura de 150 °C sob constante agitação de 300 rpm, durante 2 horas.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são mostrados os resultados encontrados nos ensaios físicos e mecânicos, tanto para as alternativas relacionadas às subcamadas, quanto para o revestimento.

3.1 – Alternativa – Subcamadas

Foi analisada, como material alternativo, a cal de carbureto, que foi introduzida ao solo argiloso. O objetivo do uso da cal é modificar as propriedades do solo das subcamadas de um pavimento quanto à sua resistência e trabalhabilidade.

3.1.1 – Caracterização Física

A Figura 1 mostra a distribuição granulométrica do solo natural e das misturas solo-cal de carbureto, com e sem o uso de defloculante, onde se nota que: (a) o solo natural sem defloculante indicou uma textura de areia siltosa, porém, ao ser defloculado, a maior parte dos seus grãos apresenta-se constituído pela fração argila, vindo em seguida areia, ou seja, significando uma amostra fortemente agregada, classificando-se como argila arenosa (Figura 1-a); (b) para as misturas com acréscimo de 2% e 4% de CC (Figuras 1-b e 1-c), antes da defloculação, ambos os solos apresentam-se texturas características do solo natural, como uma areia siltosa. Em contrapartida, por conta da flocculação, a fração argila na presença do hidróxido de cálcio se agregou produzindo grãos de areia, resultando em textura areno-argiloso para o solo com 2% CC e areno-siltoso com 4% CC.

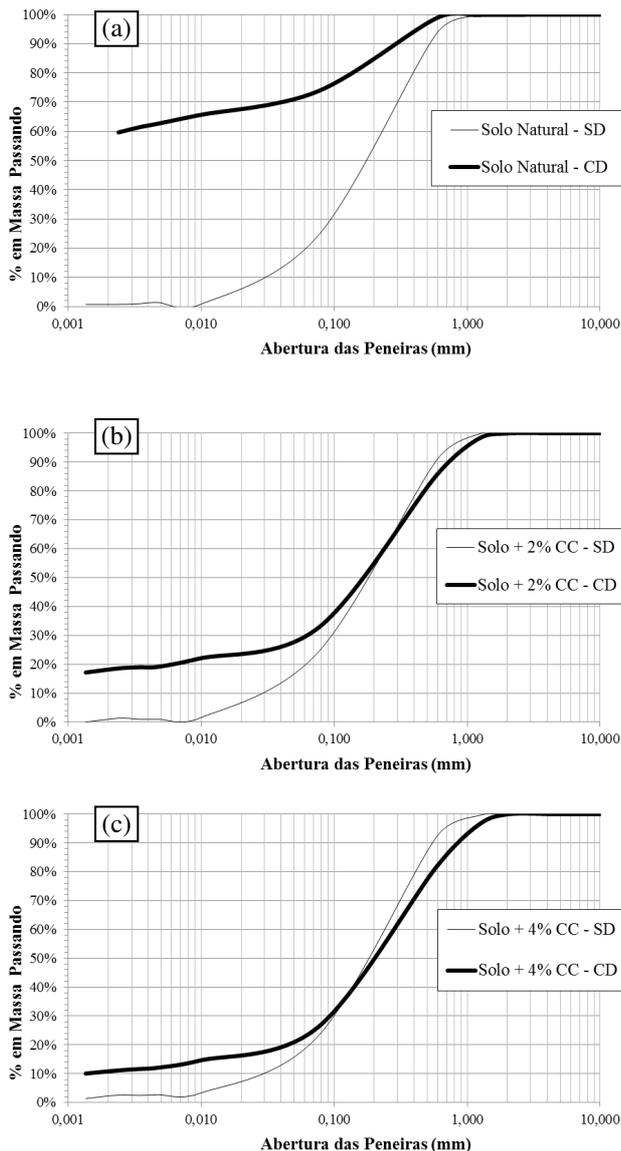


Figura 1 – Granulometria das amostras: (a) granulometria do solo natural, (b) granulometria do solo com 2% de CC, (c) granulometria do solo com 4% de CC.

Quanto aos resultados dos Limites de Atterberg, indicados na Figura 2, verifica-se que: (a) o solo natural apresentou o maior valor de LL (85%), e o acréscimo da cal proporcionou um decréscimo neste parâmetro; (b) houve também uma diminuição do LP à medida que aumentou a participação do resíduo nas misturas, podendo-se justificar um maior valor deste parâmetro para o solo natural devido ao menor teor de areia encontrado na amostra (Cabral, 2008); (c) analogamente, a respeito do IP, observa-se uma diminuição com acréscimo do resíduo, pode-se associar essa diminuição ao processo de permuta catiônica, onde há a floculação das partículas de argila causada pela adsorção de íons Ca^{++} (HORPIBULSUK *et al.*, 2011). Em contrapartida, há um aumento do IP com acréscimo de 4% de CC, em relação ao solo com 2% de CC, oriundo de uma diminuição gradual do LP e aumento quase insignificante do LL.

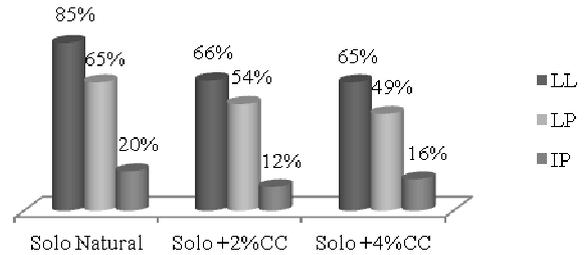


Figura 2 – Limites de consistência e índice de plasticidade.

A partir dos resultados da granulometria e dos Limites de Consistência (LL e LP), enquadrou-se o solo, tanto natural quanto das misturas com a cal de carbureto, nos critérios de classificação geotécnica — *Highway Research Board (HRB)* e *Unified Soil Classification System (USCS)*. Segundo a primeira classificação esses solos pertencem ao grupo A-7, podendo também classifica-lo no subgrupo A-7-5, cujos materiais predominantes são solos argilosos muito plásticos. Segundo Craig (2007), este tipo de solo está sujeito a variações de volume quando submetidos a diferenças de umidade. De acordo com o segundo sistema de classificação (SUCS) os solos analisados são enquadrados como MH. Neste grupo predomina a fração de silte, limos, areias finas micáceas ou diatomáceas, solos siltosos ou siltes elásticos com propriedade de mal a inadequada, quando diz respeito a estradas de rodagem (FRAENKEL, 1980).

Observa-se, no entanto, uma discordância entre os resultados da classificação granulométrica e da Carta de Plasticidade de Casagrande, relativos às classificações tradicionais. A HRB enquadra o solo natural como altamente plástico, característica em desacordo com a presença da caulinita como argilomineral predominante. Pelo sistema SUCS, tem-se solos siltosos ou arenosos, quando sua textura indicou uma argila arenosa. Caso observado também por Lima (1999), que associa essa discrepância a forte agregação do solo. Além disso, Nogami e Villibor (1981), afirmam que esses métodos foram desenvolvidos para solos de países de clima temperado, não sendo apropriados para solos tropicais – caso de Manaus, devido às diferenças existentes entre a natureza da fração argila e da areia dos solos tropicais.

Quanto à compactação na energia intermediária foram obtidos o peso específico máximo e a umidade ótima, além de verificar a influência da adição do resíduo CC. Conforme mostra a Figura 3 os parâmetros de compactação apresentaram, respectivamente: 13,63 kN/m³ e 31,6% (solo natural), 13,79 kN/m³ e 31,4% (solo com 2% de CC), e 13,88 kN/m³ e 31,2% (solo com 4% de CC). Tais resultados não indicaram influência da cal de carbureto nas misturas, concernentes aos parâmetros de compactação.

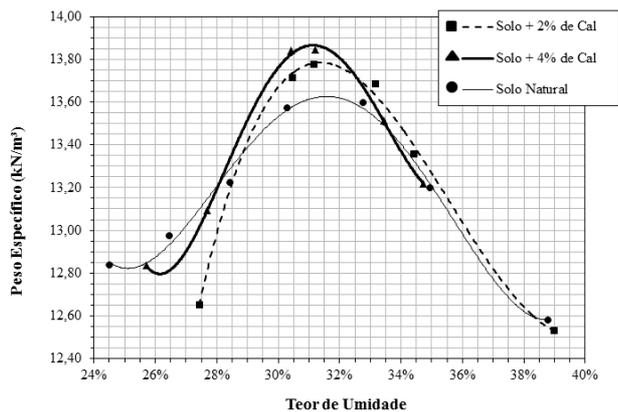


Figura 3 – Curvas de Compactação.

3.1.2 – Caracterização Mecânica

Acerca do desempenho mecânico, determinado pelo ensaio de Resistência à Compressão Simples (Figura 4), o solo natural apresentou um valor igual a 291,81 kPa. Quando submetido ao processo de cura mostrou redução neste parâmetro. Relativo à estabilização desse solo, por meio da adição da cal de carbureto, tem-se: (a) no tocante ao percentual do resíduo do carbureto, a resistência se eleva com o teor. No entanto, existe um teor dito “ótimo” alusivo ao subproduto CC, onde, segundo Molina *et al.* (2004), aumentar a adição de cal só é favorável enquanto existir disponibilidade de elementos para as reações pozolânicas, limite a partir do qual, novos acréscimos de cal revelam-se desfavoráveis; (b) respeitante ao período de envelhecimento, observa-se um aumento da resistência das misturas solo com a participação da cal de carbureto. A literatura mostra um crescimento exponencial da RCS pela ação da temperatura de cura. Esta, alusiva à aceleração das reações pozolânicas, que formam os produtos cimentantes, os quais além de preencherem os vazios, cimentam os grãos, conferindo maior resistência ao material (THOMÉ, 1999).

Em complemento, tem-se o trabalho de Kavak e Baykal (2012) com solo argiloso caulinitico, similar aos solos amazônicos, que apresenta valor da RCS, para estabilização com 4% de cal e cura de 7 dias, em aproximadamente 500 kPa, resultado semelhantemente ao aferido neste trabalho para o solo + 4% CC na condição envelhecida (535,97 kPa). Confirmando, assim, que altas temperaturas podem acelerar a cura em um processo de estabilização química com o resíduo cal de carbureto.

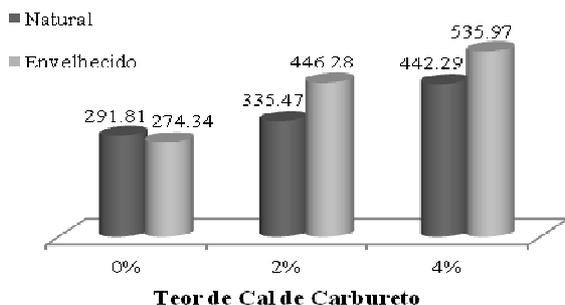


Figura 4 – Resistência à compressão simples em kPa.

3.2 – Alternativa – Revestimento

Pesquisou-se, como material alternativo, a areia de resíduo de construção e demolição na mistura mineral. Participou também da mistura asfáltica, o CAP 50/70, usualmente empregado na região, modificado pelo SBS (copolímero de estireno e butadieno). Porquanto, segundo trabalhos realizados pelo Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Amazonas (BERTOLDO *et al.*, 2010, FERREIRA *et al.*, 2011, e VALENÇA *et al.*, 2011), a inclusão do citado polímero com a areia reciclada, proporciona melhorias na flexibilidade do asfalto, apontando contribuição significativa no aumento da resistência à tração.

3.2.1 – Caracterização Física

Os resultados concernentes aos cimentos asfálticos de petróleo, presentes na Tabela 1, puro (CAP) e modificado com polímero SBS (CAP SBS), indicam que tais materiais atenderam as especificações brasileiras regulamentadas pela ANP.

Vários estudos têm demonstrado que a adição do polímero SBS ao CAP resulta num ligante mais consistente, melhorando as propriedades físicas e mecânicas dos asfaltos convencionais (LEITE, 1999; COSTA, 2002; WEN *et al.*, 2002; LUCENA *et al.*, 2003).

Nota-se que a inclusão do polímero SBS proporcionou, dentre os resultados mais significativos: (a) redução da Penetração, sugerindo maior rigidez e resistência aos pavimentos. (b) menor variação após o envelhecimento (RTFOT), sendo tais alterações ocorridas nas suas propriedades físicas, relacionadas à oxidação sob efeito do calor e do ar; (c) aumento no Ponto de Amolecimento antes e após o envelhecimento, onde, segundo Fernandes e Lourenço (2007), proporciona a redução de problemas de plastificação e deformação do pavimento por escoamento do ligante asfáltico, portanto, mais adequado às condições de uso nos dias quentes, como os que ocorrem em Manaus; (d) aumento na viscosidade, que de acordo com Morilha (2004), aumenta a durabilidade da mistura asfáltica, melhora a adesividade e a resistência à umidade e às intempéries nas misturas em campo; (e) uma redução acentuada na Ductilidade, indicando uma característica quebradiça, que segundo Freitas Amaral (2007, *apud* LIMA, 2008), pode levar à ruptura por tração do material betuminoso; e particularmente indicou um resultado menor que o especificado pela norma (DNER-EM 396:1999), que determina que o ligante tenha uma Ductilidade mínima de 60 cm, sendo assim, a adição do polímero não contribuiu para o aumento da plastificação do asfalto.

Tabela 1 – Caracterização dos ligantes.

Características	Método	Un.	CAP 50/70	CAP SBS
Penetração	D5	0,1 mm	69,0	39,5
Ponto de amolecimento	D36	°C	49,7	52,5
Viscosidade Saybolt-Furol a 135 °C	E 102	s	283,00	300,78
Viscosidade Brookfield a 135 °C	D4402	cp	539	870
Viscosidade Saybolt-Furol a 150 °C	E 102	s	140,70	149,38
Viscosidade Brookfield a 150 °C	D4402	cp	279,80	401,36
Viscosidade Saybolt-Furol a 177 °C	E 102	s	50,80	56,97
Viscosidade Brookfield a 177 °C	D4402	cp	96,80	158,64
Ductilidade	D113	cm	> 100	41,5
Ponto de fulgor	D92	°C	318	324
Solubilidade em tricloroetileno	D2042	% massa	99,9	99,7
RTFOT variação em % de massa	D2872	%	0,040	0,075
RTFOT aumento do ponto de amolecimento	D36	°C	7,1	9,3
RTFOT penetração retida	D5	%	63,0	27,1
Densidade relativa a 20/4C	D70	N/A	0,998	0,994

Quanto à granulometria, indicada na Figura 5, observa-se que a Areia RCD tem percentual menor da fração fina comparativamente a Areia Manaus. Já o cimento *portland* apresentou-se constituído por partículas granulometricamente delimitadas em norma, ou seja, amostra com mais de 65% de partículas menores que 0,075 mm passantes.

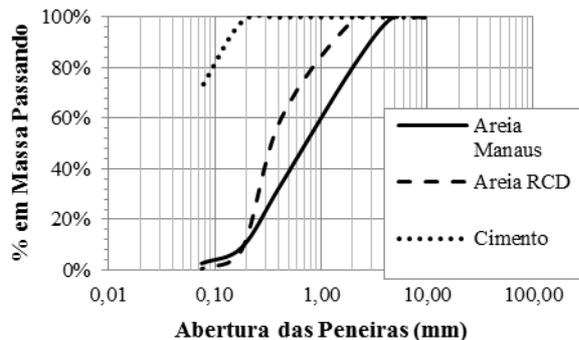


Figura 5 – Granulometria dos agregados e do fíler.

Quanto aos agregados minerais os resultados são mostrados na Tabela 2: (a) valor característico da densidade real igual a 3,12 para o Cimento *Portland*; (b) em relação ao material pulverulento, a Areia Manaus, embora com maior percentual de finos, não propiciou um maior teor deste parâmetro, ou seja, maior quantidade de partículas com dimensões menores que 0,075 mm; e (c) a Areia de RCD se comportou como um material de difícil separação dos pulverulentos, por conta de sua fração cimentícia derivada dos resíduos de concreto de cimento

britado, de tal forma a se delimitar no ensaio somente um valor mínimo em 5,43%.

Tabela 2 – Caracterização dos agregados e do fíler.

Características	Método	Areia Manaus	Areia de RCD	Cimento
Densidade real	ME 084	0,519	0,358	3,12
Massa específica (kg/dm ³)	ME 194	2,606	2,370	-
Massa específica solta (kg/dm ³)	C 29	1,640	1,506	-
Massa específica compactada (kg/dm ³)	C 29	1,814	1,656	-
Equivalente de areia (%)	D 2419	92,80	-	-
Teor de materiais pulverulentos (%)	ME 266	0,147	> 5,43	-

3.2.2 – Dosagem e Teor de Projeto

Pela norma DNIT 032:2005 – ES, referente às misturas de areia asfalto (AAUQ), delimitou-se o teor de ligante betuminoso. Juntamente com o enquadramento granulométrico da fração mineral na faixa A do DNIT, alusiva à mesma norma, foram confeccionados os corpos de prova nas composições presentes na Figura 6, sendo determinados o volume de vazios (Vv) e a relação betume/vazios (RBV). Cabe ressaltar que, antes da compactação, acondicionavam-se as misturas em uma estufa por duas horas a 170 °C. Tal processo visava simular o desgaste do material na produção, transporte e aplicação em campo (envelhecimento).

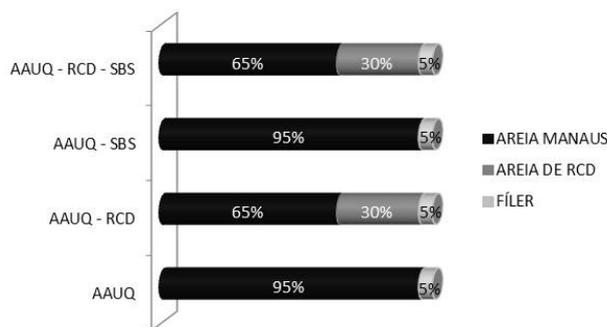


Figura 6 – Composição mineral das misturas asfálticas.

Seguindo o método de dosagem Marshall faz-se uso dos parâmetros volume de vazios (Vv) e relação betume/vazios (RBV), visando encontrar o chamado teor de projeto. Os índices físicos e os teores “ótimos” para todas as misturas estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Teor de projeto e parâmetros físicos.

MISTURAS	%TEOR CAP	% VV	% RBV
Faixa DNIT	(6 a 12)	(3 a 8)	(65 a 82)
AAUQ	10,08	6,40	77,00
AAUQ-RCD	9,84	6,30	76,60
AAUQ-SBS	9,95	6,40	77,00
AAUQ-RCD-SBS	9,70	6,20	76,40

De acordo com a Tabela 3 e comparando o usual compósito AAUQ (referência) com os demais, embora discretas, tem-se as seguintes alterações:

(a) Diminuição no teor de ligante da mistura AAUQ-RCD;

(b) Decréscimo nos teores de projeto das misturas AAUQ-SBS e AAUQ-RCD-SBS. Conforme os ensaios de caracterização, o CAP SBS é mais viscoso que o original, portanto, favorecendo uma maior viabilidade econômica;

(c) Redução do volume de vazios das misturas com a participação do RCD, indicando um melhor desempenho mecânico;

(d) Variação no parâmetro RBV com o acréscimo da areia de RCD, refletindo a alteração na dosagem do material.

3.2.3 – Comportamento Mecânico

Com o teor de projeto definido, foram confeccionados corpos de prova visando à determinação da Resistência à Tração e do Módulo de Resiliência, em conformidade com a norma DNER ME 138:1994 e DNER ME 133:1994, respectivamente.

Quanto ao ensaio de RT os resultados são mostrados na Figura 7, que se mostraram dentro da norma (DNIT 031:2006-ES), ou seja, mínimo 0,6 MPa. Pela figura nota-se, igualmente, alusivo à mistura padrão, aumento desse parâmetro com o acréscimo do agregado miúdo de RCD. Tal resultado pode ser explicado ao se analisar a origem dos materiais, pois o resíduo reciclado apresenta uma fração cimentícia, que provê maior integração à mistura. Segundo Rodrigues (2010), compósitos com polímero SBS mostram alteração nos parâmetros reológicos, acarretando melhor desempenho remissivo ao ligante modificado.

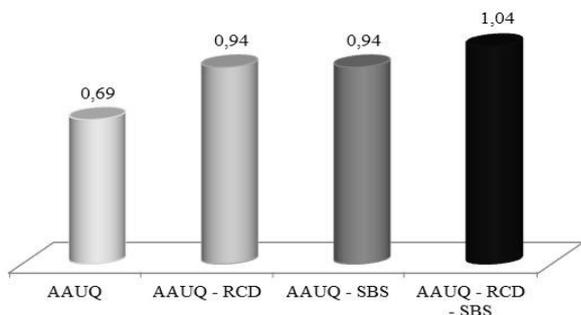


Figura 7. Resistência à Tração (RT) em MPa.

No caso do Módulo de Resiliência (Figura 8), que denota a deformação recuperável do pavimento quando este é submetido a cargas cíclicas, se verificou nos compósitos pesquisados que: (a) a adição da Areia RCD elevou os valores do MR, respeitantes aos compósitos com a Areia Manaus (AAUQ); e (b) a modificação do CAP 50/70, pelo SBS, e sem a participação da areia de RCD (AAUQ-SBS), resultou no decréscimo dos valores do MR, concernente às demais misturas sem o polímero.

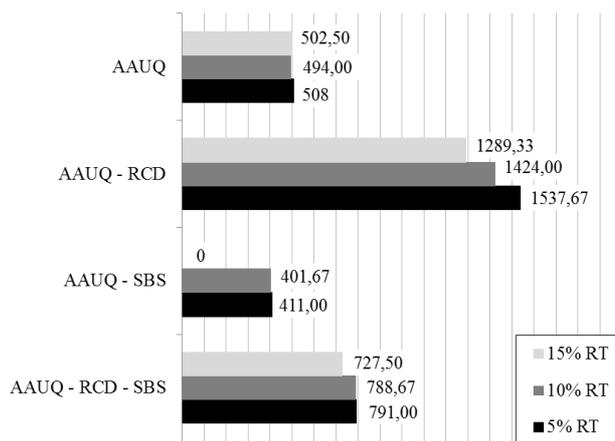


Figura 8 – Módulo de Resiliência (MR) em MPa.

4 – CONCLUSÃO

Com vistas a contribuir com alternativas funcionais e sustentáveis para a pavimentação manauara, além de reduzir o descarte de resíduos sólidos por meio da reciclagem ou reutilização, de uma forma geral, obteve-se:

- Em relação às camadas subjacentes: a adição do subproduto cal de carbureto mostrou-se vantajosa, com diminuição do índice de plasticidade, indicado pela alteração da granulometria do solo advinda da floculação da fração argilosa e acréscimo na Resistência à Compressão Simples (RCS), sobretudo na condição envelhecida.
- Referente ao revestimento asfáltico: quanto à mistura padrão (AAUQ), os compósitos com areia de resíduos de construção apresentaram maiores valores da Resistência à Tração (RT) e do Módulo de Resiliência (MR). Também se observou que a inserção do polímero SBS ao CAP, resultou em valores mais elevados de Resistência à Tração (RT) e uma queda no Módulo de Resiliência (MR), ou seja, ganhos na rigidez da mistura.

Em suma, ressalta-se a contribuição deste trabalho ao apresentar um destino ambientalmente favorável aos subprodutos industriais — RCD e cal de carbureto e, por meio destes, viabilizar alternativas técnicas para obras de infraestrutura da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7180**: solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 6508**: grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

- _____. **NBR 7181**: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.
- _____. **NBR 7182**: solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1988.
- BENTO, A. H.; FROTA, C. A. Mapeamento geotécnico da área urbana de Manaus, AM. **Anais... III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**. Florianópolis, SC, 1998.
- 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.
- BERTOLDO, 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. **Anais... Congresso de Infraestrutura de Transportes (CONINFRA)**. São Paulo: 2010.
- CABRAL, E. M.; SÁ, R. J.; VIEIRA, R. K.; VASCONCELOS, R. P. Utilização de massas cerâmicas na produção de agregado sintético de argila calcinada para uso em concreto. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 404-410, dez. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132008000400004>.
- COSTA, C. A. O desenvolvimento do emprego de asfaltos modificados por polímeros na região nordeste do Brasil. **Anais... 16º Encontro de Asfalto, IBP**, Rio de Janeiro, 2002.
- CRAIG R. F. **Mecânica dos solos – fundamentos de engenharia geotécnica**. Braja, M. D., Tradução da 6ª edição norte-americana. 7ª ed., LTC Editora/GEN, RJ, 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **ME 133:1994**. Pavimentos flexíveis – misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. **ME 138:1994**. Pavimentos flexíveis – misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. **ME 396:1999**. Cimento asfáltico modificado por polímero, Método de Ensaio. Rio de Janeiro: 1999.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **031:2006 – ES**. Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico, Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **032:2005 – ES**. Pavimentos flexíveis – areia-asfalto a quente, Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2005.
- FERNANDES, M. R. S.; LOURENÇO, G. L. Efeito da adição de polímero e reticulante em propriedades do ligante asfáltico. In: **Borracha Atual**: 2007.
- FERREIRA, M. R.; SOUZA, R. J. Q.; CAVALCANTE, D. G.; BERTOLDO, R. A.; SILVA, C. L.; FROTA, C. A. Misturas asfálticas alternativas para Manaus, AM. **Anais... Congresso Ibero-Latinoamericano do asfalto (CILAS)**. Rio de Janeiro: 2011.
- FRAENKEL, B. B., **Engenharia Rodoviária**. Editora Guanabara 2: Rio de Janeiro, 1980.
- HORPIBULSUK, S.; PHETCHUAY, C.; CHINKULKIJNIWAT, A. Soil stabilization by calcium carbide. **Journal of Materials in Civil Engineering**. ASCE, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Posição ocupada pelos 100 maiores municípios em relação ao Produto Interno Bruto a preços correntes e participações percentuais relativas e acumuladas, segundo os municípios e respectivas Unidades da Federação. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2005_2009/tabelas_pdf/tab02.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.
- KAVAK, A.; BAYKAL, G. Long-term behavior of lime-stabilized kaolinite clay. **Environmental Earth Sciences**, 2012. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1419-8>.
- LEITE, L. F. M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- LIMA, C. K. M. **Estudo da incorporação de resíduo industrial polimérico ao CAP**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2008.
- LIMA, M. C. **Caracterização geotécnica de perfil de solo típico da cidade de Manaus, AM**. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- LUCENA, M. C. C., SOARES, S. A., SOARES, J. B. Efeito da Adição de SBS nas propriedades químicas e reológicas de asfalto oriundo de petróleo brasileiro. **Anais... 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás**, Rio de Janeiro, p. 160-160, 2003.
- MOLINA, C. E. C.; PARREIRA, A. B.; FERNANDES, J. L. Comportamento mecânico de misturas de resíduo da fabricação de papel e solo para utilização na construção rodoviária. **Anais... XVIII ANPET**. Florianópolis, 2004.
- MORILHA, A. J. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. **Anais... Simpósio Brasileiro de solos Tropicais em Engenharia**. Rio de Janeiro, 1981.
- ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. São Carlos. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo, 2000.

RODRIGUES, F. O. **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. In: **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**. 2010.

THOMÉ, A. **Comportamento de fundações superficiais apoiada em aterros estabilizados com resíduos industriais**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

VALENÇA, P. M. A.; FROTA, C. A.; BERTOLDO, R. A.; CINHA, T. M. F. Estudo de misturas areia-asfalto com areia de resíduo de construção e demolição, fibra do açai e polímeros para a cidade de Manaus, AM. In: **Ciência & Engenharia**, v. 20, n. 2, p. 11-19, 2011.

WEN, G., ZHANG, Y., SUN, K., FAN, Y. Rheological characterization of storage-stable SBS modified asphalts. **Polymer Testing**, v. 21, p. 295-302, 2002.
[https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(01\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(01)00086-1).