

IAG39-02-2013
CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS DE CALCÁRIO
EMPREGADOS NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS DO HAITI
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO EN PIEDRA CALIZA
EMPLEADOS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN HAITI.

Claudeny Simone Alves Santanaa
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, Brasil
cl_deny@yahoo.com.br

Antônio Carlos Rodrigues Guimarães
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, Brasil
guimaraes@ime.eb.br

RESUMO

O Brasil, como integrante das nações Unidas (ONU), mantém uma missão de paz no Haiti para fins de garantia da lei e da ordem e desenvolvimento da infraestrutura daquele país. Os trabalhos de desenvolvimento da infraestrutura são realizados pelo Exército Brasileiro através da atuação de uma Companhia de Engenharia de Construção, estruturada nos moldes dos tradicionais Batalhões de Engenharia atuantes na Amazônia. Grande parte dos serviços consiste em pavimentação asfáltica, sendo que estudos sobre dosagem de misturas asfáltica e caracterização de agregados foram desenvolvidos pelos autores, sendo apresentados na presente pesquisa. A norma da ABNT NBR 9935/2011 define agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para a produção de argamassas e concretos. O agregado mais comumente empregado no Haiti, extensa área de ocorrência, é denominado de *Remblais* e consiste em um cascalho de seixo rolado de calcário, podendo ser britado ou não, e, por estas peculiaridades, seu estudo detalhado é justificado. No presente trabalho são apresentados resultados de caracterização física e mecânica tradicional brasileira, tais como densidade real e aparente, granulometria, índice de forma, abrasão Los Angeles, adesividade, perda ao Choque (Treton) durabilidade, entre outros. A análise da composição química e mineralógica foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-x, sendo analisada a forma da superfície do agregado por microscopia ótica. Analisou-se, também, as características físicas do agregado *remblais* através de imagem digital obtida com equipamento AIMS (*Aggregate Imaging System*), sendo os valores comparados com agregados convencionais e outros não convencionais. Em caráter complementar são apresentados resultados de ensaios físicos e mecânicos de um concreto asfáltico elaborado com este material. Mostra-se que, apesar das peculiaridades do agregado *remblais*, este material apresentou desempenho satisfatórios nos estudos realizados.

RESUMEN

Brasil, como miembro de las Naciones Unidas (ONU), mantiene una misión de paz en Haití con el fin de garantizar la ley y el orden y desarrollo de la infraestructura del país. Los trabajos de desarrollo de la infraestructura se llevan a cabo por el Ejército Brasileño por intermedio de una empresa de ingeniería de la construcción, según el tenor de los batallones de ingeniería tradicionales que operan en la Amazonía. Gran parte de los servicios consiste en la pavimentación de asfalto, y se han desarrollado estudios sobre mezclas asfálticas dosificación y caracterización de los áridos por los autores, se presenta en esta investigación. La ABNT NBR 9935/2011 define como material agregado sin forma definida o volumen, generalmente inertes, dimensiones y propiedades adecuadas para la producción de mortero y hormigón. El agregado más utilizado en Haití amplia gama de ocurrencia, se llama remblais y consiste en una grava caliza piedra, y puede ser aplastado o no, y por estas peculiaridades, su estudio detallado se justifica. En este trabajo se presentan los resultados de la física y la mecánica tradicional brasileña, como la densidad real y aparente, granulometría, índice de forma, Los Angeles abrasión, adherencia, Choque pérdida (Tréton) duración, entre otros. El análisis de la composición química y mineralógica se llevó a cabo por microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X, y se analizó la forma de la superficie del agregado por microscopía óptica. Se analizaron también las características físicas de la imagen digital remblais agregada obtenida a través del equipo de AIMS (Sistema de Imágenes de agregación), y los compararon con los valores agregados convencionales y otros no convencionales. En el se presentan unos resultados complementarios para las pruebas físicas y mecánicas de un hormigón asfáltico elaborado con este material. Se muestra que, a pesar de las peculiaridades de los remblais hogar este material mostró un rendimiento satisfactorio en los estudios.

INTRODUÇÃO

A República do Haiti é atualmente, o país mais pobre da América, Além disso, os principais produtos de exportação, deste, são aqueles obtidos da indústria primária, como o açúcar, milho, banana, entre outros. Logo, o desenvolvimento tecnológico no Haiti, é praticamente inexistente. Devido a esses fatos, os estudos do presente trabalho servirão para determinar se a metodologia utilizada pelo Exército na missão de paz está alcançando o objetivo de produzir um concreto asfáltico que possua bom desempenho para utilização em obras rodoviárias. Neste sentido, esse projeto acrescentará conhecimentos tecnológico ao país, sobre informações importantes no que tange a caracterização de ligantes e agregados encontrados em sua região.

Remblais é um cascalho de seixo rolado de calcário encontrado em larga escala no Haiti. A necessidade do estudo das características dos agregados pétreos e de concretos asfálticos, utilizados pela missão de paz brasileira atuante no Haiti, surge do fato de que esses materiais, normalmente, dependem da disponibilidade local. Logo, é natural que existam diferenças entre os materiais empregados no Brasil e os encontrados naquele país.

Para facilitar o desenvolvimento do trabalho dos engenheiros brasileiros, é preciso caracterizar os materiais existentes de acordo com as especificações do Brasil, para determinar se os métodos empregados em âmbito nacional pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes são os mais indicados para serem utilizados na execução de obras rodoviárias no Haiti.

Os ensaios de desempenho e caracterização do agregado nos indicam como será o comportamento desse material, durante sua vida de projeto. Assim, será possível determinar

se suas propriedades serão compatíveis com as condições de sua futura utilização.

METODOLOGIA

A necessidade do estudo das características dos agregados pétreos, ligantes asfálticos e concretos asfálticos utilizados pela missão de paz brasileira atuante no Haiti, surgem do fato que esses materiais, normalmente, dependem da disponibilidade local. Logo, é natural que existam diferenças entre os materiais empregados no Brasil e os encontrados no Haiti.

Para que se encontre um traço asfáltico que corresponda às expectativas da seção de engenharia do Exército na missão de paz, foi enviado amostras de seixo rolado de calcário no qual pelo método granulométrico segundo NBR-7211 denominamos como brita 0 e brita 01, conforme Figura 1.



Figura 1: Agregados de seixo rolado de calcário: brita 0 (a), brita 1 (b), areia Remblais (c)

A caracterização física foi feita seguindo a prescrição do Departamento Nacional e Infraestrutura de Transportes, densidade real e aparente DNER-ME081/98 e DNER-ME084/95, granulometria DNER-ME083/98, adesividade do ligante ao agregado DNER-ME078/94.

Após a caracterização, buscou-se um traço de composição granulométrica que se enquadrasse na faixa C do DNIT moldando 09 corpos de prova compactados através do método Marshall NBR 12891, utilizando CAP 50/70 atendendo os requisitos estabelecidos pela norma técnica DNIT – EM 095/06 com os seguintes teores de CAP: 4,5%, 5,5% e 6,5%.

Após os corpos de prova serem moldados procedeu-se o estudo de caracterização e sua análise segundo DNIT – ES 031/2006 observando os valores limites para as seguintes características: porcentagem de vazios, relação betume/vazios ou mínimo de vazios do agregado mineral, estabilidade e resistência à Tração por compressão diametral, chegando assim a um teor ótimo de CAP.

A espectroscopia por energia dispersiva forneceu de forma qualitativa, informações sobre a composição química e imagem com resolução de lente aumentada em 500x, dessa maneira pode-se constatar a real composição química do agregado.

O *Aggregate Imaging System (AIMS)* foi desenvolvido por Eyad Masad), é um método direto para análise de propriedades de forma de agregados tanto grãos quanto miúdos baseado em aquisição e processamento de imagens com diferentes resoluções. Dentre as vantagens deste sistema podemos citar: sistema completamente automatizado e de fácil operação, capaz de realizar análises 2D e 3D, capaz de separar características de forma angularidade e textura, análises baseadas em métodos científicos reconhecidos, utilização de distribuição cumulativa de propriedades ao invés de índices baseados em médias aritméticas (Al Rousan, 2004; Masad, 2004; Al-Rousan *et al.*, 2005).

É de suma importância informar que já existem vias urbanas no Haiti pavimentadas com a massa asfáltica estudada, e que estas vias apresentaram um comportamento satisfatório quanto às expectativas geradas pelo traço, salientando ainda mais a importância da caracterização dos agregados, uma vez que foram efetivamente empregados em obras de pavimentação. A Figura 2 apresenta a etapa de limpeza e imprimação da via onde foi realizada a obra de pavimentação contendo o seixo rolado de calcário.



Figura 2: Preparação da via para pavimentação com agregado de calcário

A figura 3 retrata a Cia de Engenharia do Exército brasileiro lançando o traço em via urbana por meio de vibro-acabadora e militares retificando a emenda das faixas pavimentadas através de serviço de rastelo manual.



Figura 3: Preparação da via para pavimentação com agregado de calcário

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uma primeira análise e para fins de conhecimento sobre as características do material,

realizou-se uma espectroscopia por energia dispersiva, a fim de uma maneira qualitativa, verificar a composição química e mineralógica do agregado.

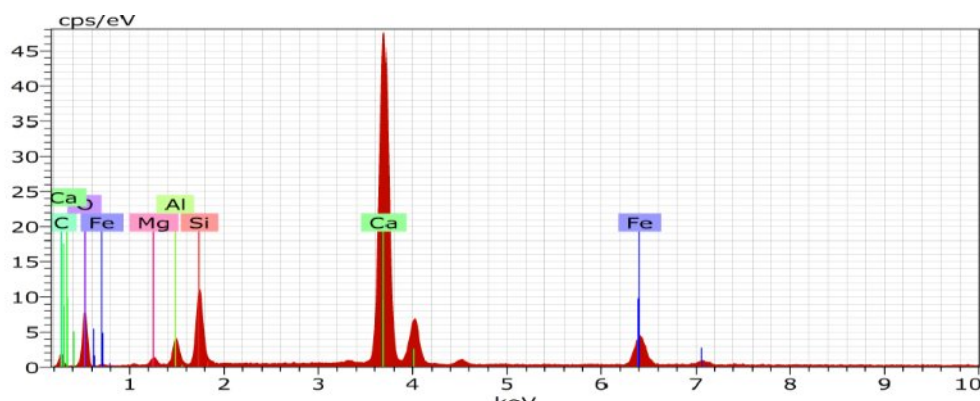


Figura 4: Gráfico de espectroscopia por energia dispersiva

A Figura 4 apresenta o gráfico de composição química de um grão de seixo rolado de calcário, onde nota-se uma maior presença de cálcio. Resultado este, que se confirma na Tabela 1 o cálcio como elemento predominante na amostra, elemento este que origina o calcário.

Tabela 1: Tabela de composição química

Elemento	Porcentagem (%)
Carbono	4,57
Oxigênio	36,16
Magnésio	0,00
Alumínio	1,32
Silício	4,97
Cálcio	43,83
Ferro	9,15

Os valores encontrados para a densidade real e aparentes dos grãos estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Densidade real e aparente da Brita 1 e Brita 0

Densidade Real e Aparente do Grão	Brita 0		Brita 1	
	1º Ensaio	2º Ensaio	1º Ensaio	2º Ensaio
Peso Cesta vazia, g	128,7	124,7	128,7	124,7
Peso Cesta + amostra seca, g	793,7	828,5	793,7	828,5
Peso Cesta imersa, g	110,5	108,5	110,5	108,5
Peso Cesta imersa + amostra, g	524	543,3	612,5	610,5
Peso Cesta imersa + úmida, g	799,9	837,5	906	882

Tabela 3: Densidade real e aparente da Areia Remblais

Densidade Real e Aparente do Grão	Agregado Areia Remblais	
	1º Ensaio	2º Ensaio
Peso do balão, g	111,7	100,5
Peso do balão + amostra, g	2,55,4	257,6
Peso do balão + amostra + água, g	450,2	452,5
Peso balão + água, g	396,9	394,3

Pela Tabela 2 e 3 encontrou-se a densidade real da brita 1 de 2,63 g/cm³ e a densidade aparente de 2,56 g/cm³. E para a brita 0 foram encontrados valores de densidade real de 2,92

g/cm³ e densidade aparente do grão de 2,89 g/cm³, a Tabela 3 foi registrado valor de densidade real da areia *Remblais* de 1,59 g/cm³. Abaixo se encontra a granulometria da mistura para composição de traço asfáltico, vide Tabela 3.

De acordo com as Figuras 5, 6 e 7, caracterizou-se o agregado de calcário *Remblais*, segundo sua textura (lisa), angularidade (sub-arredondada) e esfericidade (lamelar/baixa esfericidade).

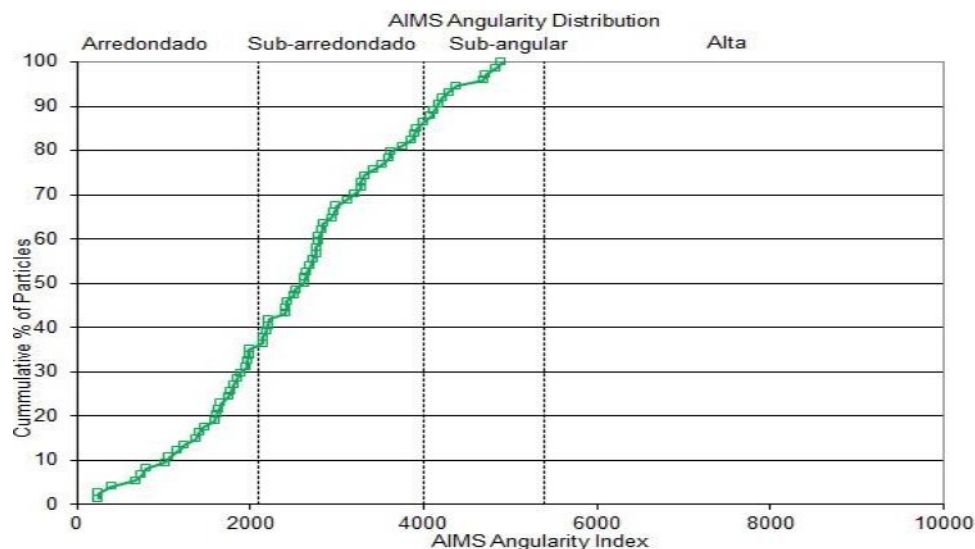


Figura 5: Gráfico com curva de angularidade do Calcário.

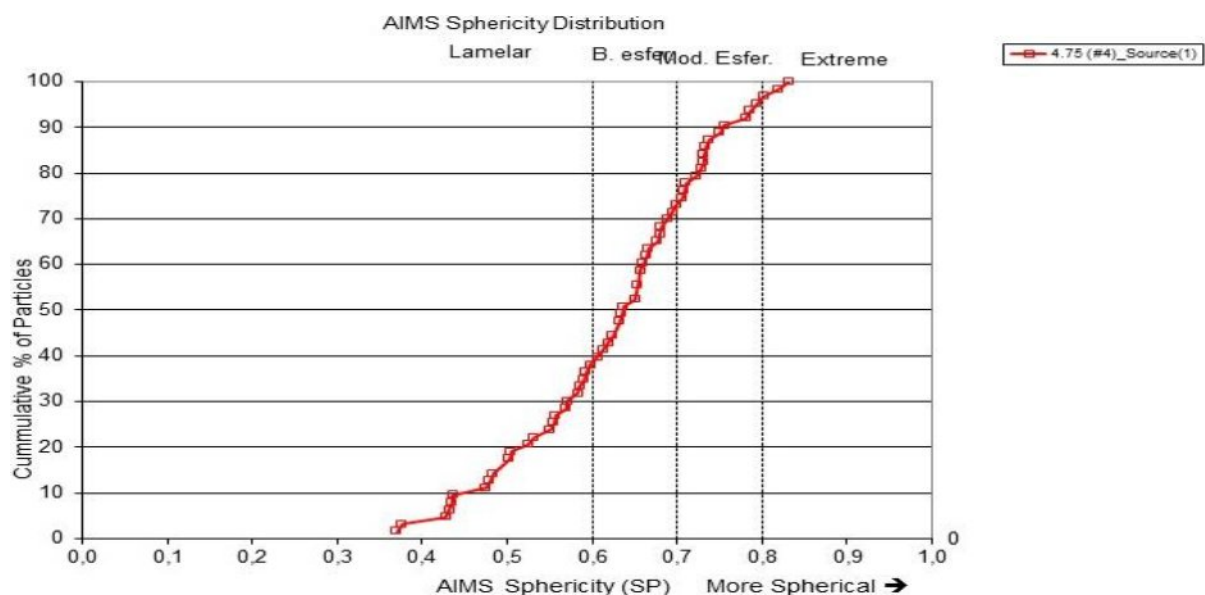


Figura 6: Gráfico com curva de esfericidade do Calcário.

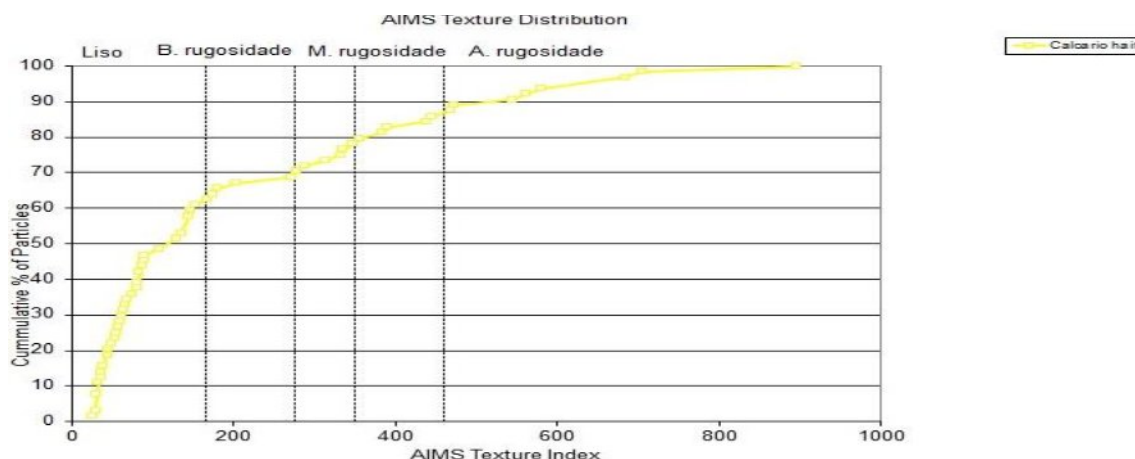


Figura 7: Gráfico com curva de textura do Calcário
Tabela 4: Granulometria dos agregados de seixo rolado de calcário

Peneira n.º	Brita 1 % Passante	Brita 0 % Passante	Areia % Passante	Mistura %Passante
1"	100	100	100	100
3/4"	99	100	100	100
1/2"	57	100	100	87
3/8"	26	100	100	78
4	5	20	95	46
10	4	11	60	29
40	3	8	25	13
80	2	6	13	8
200	1	3	5	3

Por meio da granulometria apresentada na Tabela 4, foi realizado o enquadramento granulométrico do agregado na faixa C do DNIT, onde calculou-se a mistura teórica considerando as porcentagens de 30% de brita 1, 30% de brita 0 e 40% de areia *Remblais*. A distribuição granulométrica da mistura dos agregados juntamente com a curva de distribuição granulométrica da faixa C está disposta na Figura 8.

Exemplo		Limpar Campos		QUADRO DE COMPOSIÇÃO DA MISTURA POR TENTATIVA										Próximo Passo		Ajuda	
ESPECIFICAÇÃO DO ÓRGÃO: DNIT, RELATIVA A FAIXA: ' C ' DO CBUQ CAPA.																	
PENEIRAS	BRITA 1		BRITA 0		AREIA									MISTURA TEÓRICA	MISTURA REAL	FAIXA	
	30%		30%		40%												
1e1/2"	100,0	30%	100,0	30%	100,0	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100,0			100	
1"	100,0	30%	100,0	30%	100,0	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100,0			100	
3/4"	99,0	30%	100,0	30%	100,0	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100			100	
1/2"	57,0	17%	99,9	30%	100,0	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	87,1			80 - 100	
3/8"	26,0	8%	100,0	30%	100,0	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	77,8			70 - 90	
N 4	5,0	2%	20,0	6%	95,0	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	45,5			44 - 72	
N 10	4,0	1%	11,0	3%	60,0	24%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28,5			22 - 50	
N 40	3,0	1%	8,0	2%	25,0	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13,3			8 - 26	
N 80	2,0	1%	6,0	2%	13,0	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7,6			4 - 16	
N 200	1,0	0%	3,0	1%	5,0	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3,2			2 - 10	

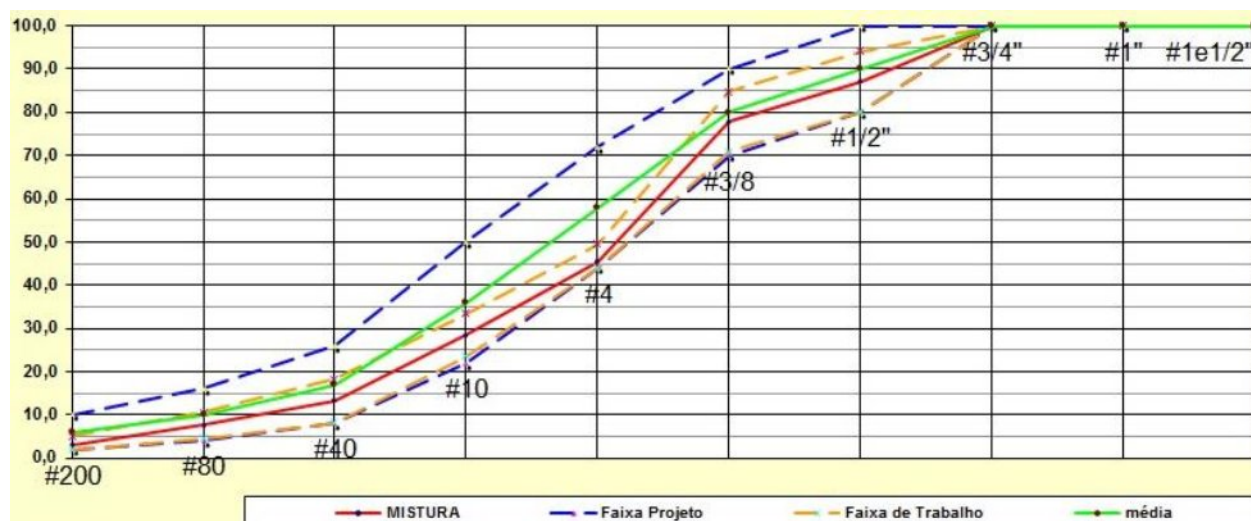


Figura 8: Enquadramento granulométrico dos agregados na faixa C do DNIT

Na Figura 8 de acordo com a legenda a linha vermelha representa a mistura teórica dos agregados na faixa C do DNIT, as linhas tracejadas em laranja determinam a faixa de trabalho dentro dos valores de tolerância para cada peneira que compõe a série granulométrica DNIT 031/2006-ES, as linhas tracejadas em azul fixam a faixa de projeto, escolhida a faixa “C” e a linha em verde fixa a média da faixa de projeto.

Os dados do Cimento Asfáltico estão apresentados na Tabela 5 e foram coletados e extraídos dos principais ensaios de caracterização utilizados para padronização de qualidade e aceitação em uma obra de engenharia, mais conhecido como controle tecnológico. Este controle é feito para que se mantenha o traço asfáltico dentro dos padrões estabelecidos por projeto.

Tabela 5: Caracterização do ligante asfáltico CAP 50/70

Ensaio	Características DNIT - EM 129/10	Média	Método
Ensaios na Amostra Virgem			
Densidade Relativa (25°C)	-	1,03	MB - 387
Ponto de Fulgor, °C, mín	235	296	NBR - 1134
Ductilidade a 25 °, cm, mín	100	>100	NBR - 6293
Viscosidade SSF/135°C, mín	141	230	
Viscosidade SSF/150°C, mín	50	99,8	NBR - 14950
Viscosidade SSF/177°C, mín	30	60,2	
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	3.000	820	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	2.000	412	NBR - 15184
Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	1.000	155	

Após caracterização dos agregados e do ligante asfáltico, foram moldados 09 corpos de prova com os teores 4,5%, 5,5% e 6,5% e os valores dos parâmetros analisados após compactação Marshall estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Características mecânicas dos corpos de prova contendo seixo rolado

Parâmetros	Traço I - 4,5%	Traço II - 5,5%	Traço III - 6,5%
Peso no ar, g	1154,16	1199,68	1145,74
Peso na água, g	659,24	691,16	656,32
Densidade aparente	2,33	2,36	2,35

Porcentagem de vazios	6,72	3,67	2,32
Vazios cheios com betume, %	10,29	16,03	15,00
Vazios do agregado mineral, %	17,01	19,70	17,33
Relação betume-vazios, %	60,50	81,40	86,61
Espessura, cm	6,84	6,72	6,73
Leitura no deflectômetro	189,33	313,33	293,33
Estabilidade encontrada, Kg	1021,00	1106,00	1035,33
Estabilidade corrigida, Kg	909,00	1017,33	942,33
Fluência, 1/100"	13,00	15,00	17,00

A partir das informações contidas na Tabela 6, é possível definir o teor ótimo de CAP para projeto, geralmente o cálculo é dado pela relação betume vazio e volume de vazios. Os resultados de estabilidade, fluência, relação betume-vazios e porcentagem de vazios foram plotados na Figura 9.

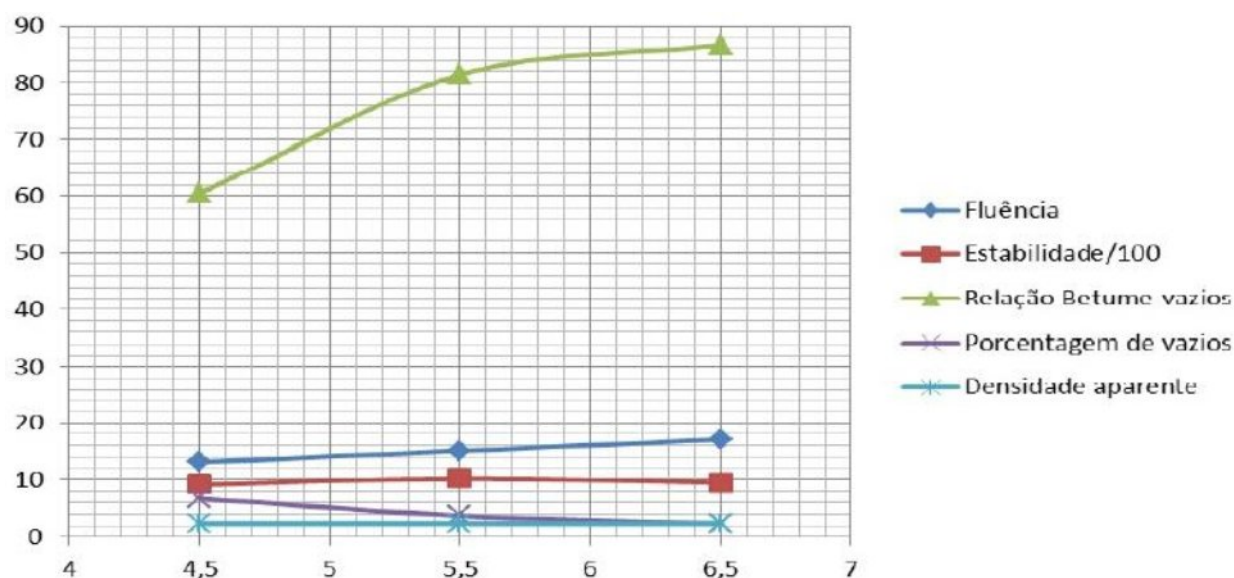


Figura 9: Grafico teor ótimo de ligante versus relação betume-vazios Determinação do teor ótimo da mistura

A partir dos dados apresentados na Figura 9, foi determinado um teor ótimo para a mistura asfáltica contendo seixo rolado de calcário proveniente das obras do Haiti de 5,75% de CAP 50/70. Este valor com o traço estudado se adequa aos parâmetros de aceitabilidade da massa impostos pelo DNIT 031/2006 – ES.

CONCLUSÕES

Comparando os dados obtidos na dosagem Marshall do agregado do Haiti com o CAP 50/70 com os parâmetros da norma técnica DNIT ES 031/06, conclui-se que esse revestimento asfáltico se enquadra dentro das especificações, portanto é recomendado o uso desse concreto asfáltico na pavimentação urbana da República do Haiti. Contudo, como o único ligante utilizado foi o CAP 50/70, não foi possível determinar se esse ligante produz revestimento asfáltico de melhor qualidade em relação às necessidades asfálticas do Haiti. As ruas que já estão asfaltadas com este traço estão abertas para o tráfego e seu desempenho tem correspondido às expectativas técnicas esperadas, além de contribuir efetivamente para o restabelecimento urbano daquele país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABNT (1993). NBR 12891- Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2009). NBR 7211- Agregados para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- DNER (1994). Método de Ensaio 078 – Agregado Graúdo – adesividade a ligante betuminoso. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1995). Método de Ensaio 084 – Agregado miúdo – determinação da densidade real. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1998). Método de Ensaio 081 – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1998). Método de Ensaio 083 – Agregados – análise granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNIT (2006). Especificação de Serviço – Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros/Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- Dicionário de Engenharia Rodoviária e de Logística: português-inglês / Mauri Adriano Panitz. – Porto Alegre: Editora Alternativa, 2007.
- Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração/ José Tadeu Balbo. – São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- TANNOUS; K. Página da Internet: <http://www.fluidizacao.com.br/pt/home.php?pgi=caracter2.html>. Acesso em: 19 de junho de 2013.