

## DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO EXPEDITO PARA AVALIAÇÃO DA IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA DE RODOVIAS

Fernando D. Almeida, Sérgio A. R. L. Filho<sup>2</sup>, Suelly H. A. Barroso<sup>3</sup>,  
Juceline B. S. Bastos<sup>4</sup>

### Copyright 2014, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação no 21º Encontro de Asfalto, realizado nos dias 12 a 14 de maio de 2014, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais do 21º Encontro de Asfalto.

### Resumo

A imprimação betuminosa é o resultado da aplicação de um ligante sobre a base de um pavimento com a finalidade de promover uma maior aderência com o revestimento asfáltico. No Brasil, para serviços de imprimação, geralmente utiliza-se o Asfalto Diluído de Cura Média (CM-30) que é constituído de uma mistura de cimento asfáltico de petróleo e querosene. Nos países desenvolvidos existe uma maior restrição na utilização do CM-30 na imprimação. Essa restrição se dá por ele ser considerado poluente ao meio ambiente devido à própria manipulação do material betuminoso, bem como a emissão de Hidrocarbonetos Orgânicos Voláteis (VOC's). Existem poucos trabalhos publicados sobre imprimação betuminosa, no Brasil e no mundo, destacando-se a necessidade de se desenvolver estudos sobre o desempenho de ligantes alternativos que venham, no futuro, substituir o CM-30. No Brasil, a seleção de novos ligantes em laboratório, para verificação da penetração da imprimação betuminosa, envolve um processo exaustivo de preparação de Corpos de Prova (CPs) que demanda muito tempo. Para cada variável a ser testada (tipo e taxa de ligante, tipo de solo, energia de compactação, taxa de irrigação prévia, etc) são moldados pelo menos três CPs, para cada teor de umidade, compactados usando-se cilindros miniatura (50×50) ou Marshall modificado (100×50). O presente trabalho propõe uma metodologia simplificada para avaliação da imprimação de ligantes alternativos visando reduzir o tempo e a quantidade de amostra. Para tanto, foram moldados corpos de prova em cápsulas de 43 mm de diâmetro e 22 mm de altura em uma amostra de solo arenoso, usando-se o ligante convencional do tipo CM-30. A moldagem foi realizada utilizando-se um coesímetro para a compactação do solo na cápsula. Verificou-se que o método proposto pode ser uma técnica simples, rápida e econômica para avaliação da penetração da imprimação betuminosa e pode contribuir para a seleção prévia de ligantes alternativos.

### Abstract

Bituminous prime coat is the result of the application of binder on the base layer of a pavement in order to promote greater adherence to the surface. In Brasil, it is traditionally used CM-30 during the prime coat, but this material has kerosene as diluent of the Petroleum Asphalt Cement (CAP). In developed countries there is a major constraint on the use of the CM-30 primer. This restriction occurs because it is considered polluting to the environment due to proper handling of bituminous material, as well as the emission of Volatile Organic Hydrocarbons (VOC's). There are few published studies on bituminous primer, in Brazil and in the world highlighting the need to develop studies on the performance of alternative ligands that may in the future replace the CM-30. In Brazil, the selection of new binders in the laboratory to verify the penetration of bituminous priming, involves an exhaustive preparation of the Samples (CPs) which is very time consuming. For every variable to be tested (binder type and rate, soil type, compaction, irrigation rate prior, etc.) are shaped at least three CPs for every moisture content, compacted using miniature cylinders (50 × 50) or modified Marshall (100 × 50). This paper proposes a methodology for expeditious evaluation of priming alternative binders to reduce the time and amount of sample. Therefore, test samples were molded in capsules 43mm in diameter and 22mm in height in a sample of sandy soil, using the conventional binder type CM-30. The molding was performed using a coesimetro for compaction the soil in the capsule. It was found that the proposed method can be a simple, fast and inexpensive evaluation of the penetration of bituminous priming and can contribute to the previous selection of alternative binders.

Graduado, Tecnólogo em Estradas - Universidade Federal do Ceará (UFC/PETTRAN)

<sup>2</sup> Mestrando, Químico Industrial - Universidade Federal do Ceará (UFC/PETTRAN)

<sup>3</sup> Professora Associada - Universidade Federal do Ceará/Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (UFC/PETTRAN)

<sup>4</sup> Doutoranda, Tecnóloga em Estradas - Universidade Federal do Ceará (UFC/PETTRAN)

## 1. Introdução

O sistema viário brasileiro é muito extenso, segundo o último relatório do Sistema Nacional de Viação (SNV-DNIT, 2013), e compreende uma malha de 1.691.163,8 km. Entretanto, cerca de 80% dessa malha é composta por rodovias não pavimentadas com 73% desse total sendo representada por vias municipais. Essas vias são chamadas, normalmente, de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego (RBVT) e possuem um importante papel no cenário econômico e social.

É por essas rodovias que é escoado o maior volume da produção agrícola do país, mas, por muitas vezes, não oferecem condições de trafegabilidade favoráveis. O mau estado das rodovias encarece os produtos, desanimam os produtores e atrasam o crescimento do Brasil, além de dificultar o acesso das pessoas aos serviços básicos como, por exemplo, educação e saúde.

A melhoria da pavimentação nesse tipo de rodovia esbarra na aprovação do estudo de viabilidade econômica que se torna difícil de ser explicado em função do baixo volume de tráfego registrado. Sendo assim, torna-se um desafio para os projetistas e construtores de estradas desenvolverem soluções técnicas adequadas com poucos recursos disponíveis.

Bastos (2013) ao analisar e dimensionar estruturas de pavimentos flexíveis relata que em RBVT é comum a indicação de soluções de revestimento com espessuras reduzidas e com pouca ou nenhuma função estrutural, o que leva as camadas de base a suportarem quase que totalmente todos os esforços provenientes do tráfego. Rabêlo (2006) ressalta que por esse motivo é exigida que a base possua uma forte ligação com o revestimento, atributo esse que deve ser fornecido pela imprimação.

Estudos desenvolvidos por Villibor, Nogami e Fabbri (1989) concluíram que os pavimentos executados com bases de solos lateríticos e imprimados com asfalto diluído do tipo CM-30, só funcionam adequadamente quando o ligante utilizado na imprimação alcança penetrações da ordem de 4 a 13 mm. Segundo esses pesquisadores, se a penetração da imprimação for reduzida o ligante utilizado se deposita sobre a superfície imprimada, podendo ocasionar exsudação do revestimento. Esse defeito, além de resultar no escorregamento entre o revestimento e a base, também diminui a aderência entre os pneus dos veículos e a pista de rolamento. Por outro lado, se a penetração do ligante for excessiva pode ocorrer o desprendimento do revestimento devido à falta de aderência entre este e a base, ou o cravamento do agregado da capa de rolamento nessa camada.

Conforme relatado na bibliografia, alguns dos problemas encontrados em pavimentos de baixo volume de tráfego podem ser ocasionados pela má execução da imprimação betuminosa, por exemplo: a exsudação no revestimento que pode ser causada pela aplicação em base com excesso de umidade ou pelo excesso de ligante; o cravamento do agregado na base, causado pela quantidade insuficiente de ligante, etc. A evolução desses problemas podem gerar desprendimento de agregados, arrancamento, escorregamento do revestimento e buracos no pavimento que podem comprometer a sua funcionalidade.

Para imprimação betuminosa no Brasil, geralmente utiliza-se o Asfalto Diluído de Petróleo (ADP) do tipo CM-30 (Asfalto Diluído de Cura Média) que é constituído de uma mistura de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) e querosene. Essa mistura libera compostos orgânicos voláteis e é capaz de contaminar o solo e reservas de água devido ao seu escoamento. Tem-se verificado em países desenvolvidos uma maior restrição na utilização do asfalto diluído na imprimação, por ele ser considerado poluente ao meio ambiente devido à própria manipulação do material betuminoso, bem como a emissão de Hidrocarbonetos Orgânicos Voláteis (VOC's).

Devido à importância do emprego da imprimação betuminosa e das vantagens inerentes ao processo da pavimentação asfáltica é necessário buscar novas alternativas para que seu emprego não ocasione tantos impactos ambientais. Logo, torna-se relevante a busca por novos materiais que visem minimizar os efeitos de agressão do ADP ao meio ambiente. Existe ainda a necessidade de estudos que atestem o desempenho dessas novas alternativas em diferentes tipos de bases granulares. Para tanto, verifica-se que os métodos de avaliação de novos ligantes demandam uma enorme quantidade de amostra na etapa inicial de testes. Logo, existe a carência de um método de avaliação que utilize o mínimo de material possível para testes preliminares com novos ligantes.

Desta forma o objetivo da presente pesquisa é propor uma metodologia simplificada para avaliação da imprimação de ligantes alternativos visando reduzir o tempo e a quantidade de amostra.

## 2. Considerações sobre Imprimação

Segundo a especificação ES 144/2012 (DNIT), a imprimação consiste na aplicação de material asfáltico sobre uma superfície de base concluída, antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer. Ela promove a aderência entre a base e o revestimento, impermeabiliza a base e fornece coesão superficial.

Rabêlo (2006) cita o trabalho de Dantas de 1959 que relata que a imprimação é uma etapa na construção de revestimentos betuminosos, executada sobre bases permeáveis, que tem basicamente três funções:

a) aumentar a coesão da superfície superior da base até a profundidade próxima de 10 mm, a ela incorporando todo material fino que não possa ser eliminado pela varredura, de modo a tornar uma superfície lisa, polida e completamente isenta de pó;

b) permitir, pelo amolecimento do material betuminoso usado, seja pela ação do calor ou pela ação de solventes, uma ligação com a camada do revestimento;

c) proteger a base da ação da água que porventura possa atravessar o revestimento.

Ishai e Livneh (1984) ressaltam que a mútua ligação criada pela imprimação contribui para a adesão interfacial, para maior eficiência no entrosamento do sistema constituído pelas duas camadas e para a melhoria da capacidade estrutural do pavimento. Observa-se que em muitos estudos a penetração do ligante na base é uma condição essencial para que haja a melhoria na qualidade da base imprimada.

### 2.1. Principais Fatores que Podem Interferir na Qualidade da Imprimação

Nogami, Villibor e Fabbri (1989) constataram que onde a penetração da imprimação com CM-30, para o caso de SAFL (Solo Arenoso Fino Laterítico), atingiu valores superiores a 15 mm ocorria em alguns locais o desprendimento da camada de rolamento devido à falta de aderência entre o revestimento e a base e/ou o cravamento do agregado do revestimento nesta camada. Já onde a penetração da imprimação alcançou valores inferiores a 3 mm ocorria, na maior parte dos casos, a exsudação do revestimento. Assim, esses autores consideraram como desempenho satisfatório aquele pavimento no qual a penetração média da imprimação foi de 4 a 10 mm. Rabêlo também estabeleceu esse intervalo como satisfatório para avaliar os seus experimentos.

Castro (2003) ao investigar o desempenho de pavimentos de algumas cidades dos estados do Paraná e do Espírito Santo, executados em revestimento antipó sobre bases de saibros imprimadas com emulsão de óleo de xisto, concluiu que somente nos pontos onde a imprimação alcançou valores de penetração no intervalo entre 4 e 13 mm o pavimento apresentou bom desempenho.

Já Duque Neto (2004) atestou que pavimentos executados com bases de misturas de solo imprimadas com emulsão de óleo de xisto apresentaram desempenho satisfatório para pavimentos com a penetração da imprimação fora do intervalo de 4 a 13 mm proposto por Castro (2003). Percebe-se que essas controvérsias entre os autores citados é fruto das diferentes condições vivenciadas por cada um deles.

Nogami, Villibor e Fabbri (1989) destacam ainda outros fatores que interferem na penetração da imprimação betuminosa: tipo e taxa de ligante; teor de umidade de compactação; massa específica aparente seca máxima; tipo de solo; umidade do solo no momento da imprimação e irrigação prévia da superfície.

Contudo, diante das experiências apresentadas pelos pesquisadores citados verifica-se que a qualidade da imprimação está associada à concentração residual de asfalto no topo da base e que estas variam também de acordo com as características de cada solo estudado.

## 2.2. Processo de Execução dos Ensaios de Imprimação em Laboratório

### 2.2.1. Ensaio Adaptado por Rabêlo (2006)

Rabêlo (2006) realizou os ensaios de imprimação, para determinação da penetração da imprimação betuminosa em solos compactados, adaptando a metodologia proposta em Villibor (1981). Ele utilizou o cilindro Marshall, com diâmetro de 10 cm e altura de 5,7 cm (alterada) em vez do cilindro miniatura (de diâmetro e altura iguais a 5 cm) usado no método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical). Outra modificação do ensaio realizada, em relação à metodologia proposta por Villibor (1981), foi a não parafinação dos corpos de prova, por entender-se que as perdas de umidade do mesmo seriam mínimas, dado o acréscimo das dimensões do cilindro de compactação utilizado.

Rabêlo (2006) fabricou um disco espaçador com um ressalto na parte central para criar um rebaixo na superior do Corpo de Prova (CP) após a compactação. O rebaixo criado no CP tem por finalidade propiciar a aplicação do ligante betuminoso. As características do cilindro e do soquete usado para realizar a compactação dos CPs, bem como os demais parâmetros utilizados nos ensaios de compactação realizados por Rabêlo (2006) estão resumidos na Tabela 1.

Esse autor ao avaliar os resultados dos ensaios de imprimação através da adaptação do molde convencional para o cilindro Marshall, tendo em vista a realização de ensaios com solos granulares, realizou o peneiramento na peneira 3/8", com o propósito de que fossem evitadas distorções nos ensaios de imprimação, face à possibilidade da ocorrência de superfícies mal acabadas na depressão dos corpos de provas.

Para a execução dos ensaios de imprimação Rabêlo (2006) utilizou os seguintes equipamentos: vassoura para limpeza prévia da superfície a ser imprimada; seringa descartável para aplicação da água da irrigação prévia e do ligante betuminoso; relógio de pulso para controle do tempo decorrido entre a irrigação prévia e o início da aplicação do ligante betuminoso; ligantes asfálticos utilizados no ensaio; paquímetro ou régua de alumínio com divisões em milímetros para medição das penetrações; régua biselada para partição dos corpos de prova; estufa para aquecimento dos ligantes e termômetro para controle da temperatura de aplicação dos ligantes betuminosos.

Tabela 1 - Características das ferramentas e dos parâmetros utilizados nos ensaios de compactação

Características	Cilindro Marshall
Peso do soquete (kg)	4,54
Altura de queda (cm)	45,72
Número de camadas	1,00
Número de golpes por camada	28,00
Diâmetro médio (cm)	10,10
Altura média do CP (cm)	5,70
Altura do rebaixo (cm)	0,42
Diâmetro do rebaixo (cm)	4,95
Energia (Kg.cm/cm <sup>3</sup> )	12,71

### 2.2.2. Ensaios Realizados em Cilindros Mini-Proctor

Duque Neto (2004) e Castro (2003) optaram pelo uso da metodologia de Villibor (1981), acrescida de algumas adaptações. No caso do tempo de ruptura do ligante, ambos adotaram um tempo de espera de 48 horas para cura dos corpos de prova. Para o preparo das amostras foi primeiramente realizado a homogeneização das porções de material e acondicionamento em câmara úmida por 24 horas.

Em seguida, as amostras foram submetidas ao ensaio de compactação no compactador MCT, usando-se a energia intermediária (12 golpes do soquete pesado). Na parte superior do corpo de prova foi colocada uma peça denominada “macho” que cria um ressalto no corpo de prova que se destina à aplicação posterior do ligante asfáltico.

Outro cuidado tomado é a não parafinagem das faces laterais e no fundo dos corpos de prova, conforme a metodologia Villibor (1981), visto que as perdas de umidade abaixo da superfície da região imprimada e no meio do corpo de prova não ocorrem de forma acentuada nas 24 horas após a moldagem dos corpos de prova.

## 3. Materiais e Métodos

### 3.1. Solo

Nesta pesquisa foi utilizado um solo coletado na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) no município de Caucaia. Optou-se por se trabalhar com uma amostra de solo arenoso, cuja localização geográfica é 3°44'27,00" Sul e 38°45'00,10" Oeste.

#### 3.1.1. Ensaios com o Solo

O solo coletado foi caracterizado de acordo com a norma ME-041/94 do DNER. A amostra de solo foi seca, destorroada e quarteada, a fim de promover sua melhor homogeneização, sendo posteriormente submetida aos ensaios descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaios e normas dos solos

Ensaio	Norma
Solos – Análise Granulométrica por Sedimentação	DNER-ME 051/94
Solos – Determinação da Densidade Real	DNER-ME 093/94
Solos – Determinação do Limite de Liquidez	DNER-ME 122/94
Solos – Determinação do Limite de Plasticidade	DNER-ME 082/94
Solos – Compactação no Cilindro Proctor	DNER-ME 162/94
Solos – CBR e Expansão	DNER-ME 049/94
Solos – Módulo de Resiliência	Método COPPE/UFRJ

### 3.2. Escolha do Material Betuminoso

O material betuminoso utilizado nos ensaios de imprimação foi o CM-30. O asfalto diluído CM-30 foi escolhido por ser, no momento, o único material asfáltico comercialmente disponível para imprimação no estado do Ceará. O asfalto diluído CM-30 foi aplicado após um leve aquecimento, a 50°C, para atingir a viscosidade de 20 a 60 segundos “Saybolt-Furol”, recomendada pela norma técnica DNER-ME ES-306/97.

### 3.2.1. Caracterização do Ligante

Para caracterização do ADP CM-30 foram realizados os ensaios descritos na Tabela 3 a seguir:

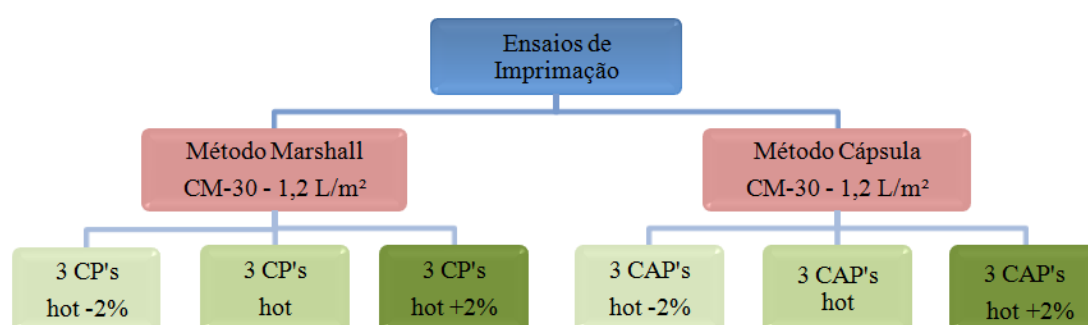
Tabela 3 - Ensaios e normas dos ligantes

Ensaio	Norma
Ensaio de Penetração	ASTM D5
Viscosidade Cinemática	ASTM E102
Ponto de fulgor	ASTM D92

### 3.3. Descrição dos Ensaios de Imprimação

Foram preparados três corpos de prova para cada ponto analisado, com a finalidade de se obter uma média aritmética das penetrações obtidas, utilizando-se a taxa de aplicação de 1,2 L/m<sup>2</sup>. Os testes foram realizados em três diferentes teores de umidade: umidade ótima de compactação menos 2% (hot-2), umidade ótima (hot) e umidade ótima mais 2% (hot+2), para os dois métodos comparados, conforme esquema mostrado no organograma da Figura 1.

Figura 1 - Esquema de determinação da Taxa de Imprimação usada neste estudo



Para a análise do solo, ao todo, foram moldados 9 corpos de prova Marshall e 9 cápsulas, sendo, três CP's por teor de umidade para a taxa de imprimação de 1,2 L/m<sup>2</sup> que é a mais utilizada usualmente em serviços rodoviários.

## 4. Apresentação e Discussão de Resultados

Na sequência, são apresentados os resultados da classificação TRB do solo e algumas de suas propriedades, além dos resultados dos ensaios de caracterização do material betuminoso utilizado na pesquisa. Posteriormente são apresentados os resultados dos ensaios de imprimação em função do teor de umidade, do tipo de solo e da taxa do ligante utilizado.

### 4.1. Resultados da Caracterização do Solo

Os resultados dos ensaios de granulometria e a classificação TRB do solo podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Granulometria e classificação TRB das amostras estudadas

Amostras		Solo arenoso
Granulometria	2"	100
	1"	100
	3/8"	100
	Nº 4	99
	Nº 10	89
	Nº 40	58
	Nº 200	36
% < 0,05 mm		25
% < 0,002 mm		16
TRB		A-2-4

Observando a Tabela 4, percebeu-se que a amostra utilizada possui uma granulometria fina, com 89% das partículas do solo passando na peneira de abertura nominal igual a 2 mm.

A densidade real ou massa específica dos sólidos é uma característica associada à natureza mineralógica dos grãos que constituem o solo. O solo estudado apresentou densidade real de 2,48 g/cm<sup>3</sup>.

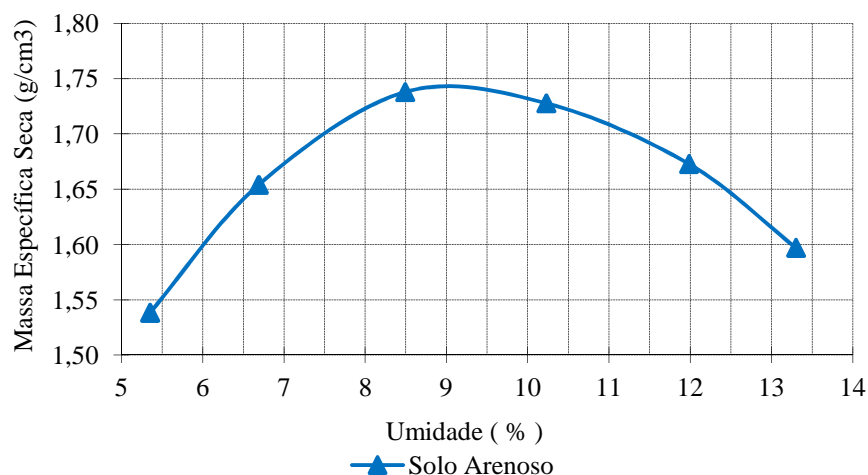
Os resultados do ensaio de limite de liquidez e índice de plasticidade do solo mostraram que o solo se caracteriza como não líquido e não plástico.

## 4.2. Resultados das Propriedades Mecânicas do Solo

### 4.2.1. Compactação

O resultado do ensaio de compactação da amostra de solo pode ser visualizado na Figura 2. De acordo com a Figura 2, o solo estudado apresentou umidade ótima (hot) de 9,2% e a massa específica aparente seca máxima (MEAS) de 1,728 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 2 - Curva de compactação do solo



### 4.2.2. CBR e Expansão

A amostra apresentou um baixo valor de expansão de 0,05%. Verificou-se que este valor atende aos limites estabelecidos pelo DER/CE, menores de 0,5%, indicando que esse materiais pode ser aplicado em camadas granulares de base de pavimentos rodoviários. O valor de CBR de 39,5% indica que este solo pode ser utilizado como sub-base ou como base de RBVT.

### 4.2.3. Módulo de Resiliência (MR)

Bastos (2013) realizou o ensaio de MR (ver resultado na Tabela 5) da amostra estudada nesta pesquisa. O corpo de prova foi moldado por compactação dinâmica, em 10 camadas, em cilindro tripartido, de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A escolha de um modelo que descreva, com a maior fidelidade possível, o comportamento resiliente de um solo é de fundamental importância para a avaliação correta da deformabilidade do material. Adotou-se o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido dos modelos como critério para a medida de cada um deles na representação da variação do MR com o estado de tensão. Da Equação 1 até 5 estão indicados os modelos testados.

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \quad (1)$$

$$MR = k_1 \cdot \theta^{k_2} \quad (2)$$

$$MR = k_1 \cdot \sigma_d^{k_2} \quad (3)$$

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3} \quad (4)$$

$$MR = k_1 \cdot P_a \cdot \left[ \frac{\theta}{P_a} \right]^{k_2} \cdot \left[ \frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right]^{k_3} \quad (5)$$

Tabela 5 - Equações do MR e coeficientes de determinação para a amostra de solo

Equação	$M_R W_{ót} (MPa)$	$R^2$	$MR_{Médio}$
1	$597,9 \cdot \sigma_3^{0,252}$	0,57	298
2	$373,0 \cdot \theta^{0,196}$	0,37	
3	$355,1 \cdot \sigma_d^{0,088}$	0,11	
4	$680,2 \cdot \sigma_3^{0,460} \cdot \sigma_d^{-0,209}$	0,81	
5	$197,1 \cdot \theta^{0,640} \cdot \tau_{oct}^{-0,399}$	0,76	

Com o resultado apresentado na Tabela 5 foi possível perceber que o modelo composto, representado pela Equação (4), seguido do modelo universal não linear, representado pela Equação (5), foram os que apresentaram melhor capacidade de representação do comportamento resiliente da amostra estudada.

#### 4.3. Resultados da Caracterização do Material Betuminoso

Os ensaios realizados no Asfalto Diluído de Petróleo do tipo CM-30 foram realizados no laboratório do fabricante que cedeu o referido ADP e os resultados estão apresentados na Tabela 6. Pode-se observar que o ADP fornecido atende a todos os requisitos da norma DNIT 128/2010, sendo apropriado para aplicação em serviços de imprimação.

Tabela 6 - Resultados da caracterização do asfalto diluído de petróleo do tipo CM-30

Características	Método	Resultado
Viscosidade Cinemática a 60°C	D2170	55,4
Ponto de fulgor (°C)	D3143	41
Destilado a 225°C (% volume)	D402	19,5
Destilado a 260°C (% volume)	D402	50
Destilado a 316°C (% volume)	D402	82,9
Resíduo a 360°C por diferença (% volume)	D402	59
Água por destilação (% volume)	D95	<0,05
Viscosidade a 60°C no resíduo da destilação	D2171	695
Solub. no Tricloroetileno no resíduo da destilação (%)	D2042	100
Ductibilidade 15,5°C no resíduo da destilação (cm)	D113	150

#### 4.4. Descrição do Ensaio de Imprimação

##### 4.4.1. Compactação dos Corpos de Prova para a Imprimação

Para o desenvolvimento do método simplificado de laboratório, intitulado Método da Cápsula, cujo objetivo foi avaliar a penetração da imprimação betuminosa, realizaram-se moldagens dos corpos de prova em cápsulas de 43 mm de diâmetro e 22 mm de altura. Para tanto, utilizou-se um solo de natureza arenosa. Em cada cápsula foi colocada 45g de material, e em seguida foi feita a compactação utilizando-se um coesímetro. No entanto, como o êmbolo do coesímetro não cobria toda a superfície do solo na cápsula, foi necessário utilizar uma cápsula ligeiramente menor, para auxiliar na moldagem. Conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Detalhe da moldagem do solo nas cápsulas



Foram realizadas diversas tentativas para que o grau de compactação do CP moldado na cápsula atingisse 100% em relação ao CP Marshall moldado na energia intermediária, mas por limitação do coesímetro e pelo método utilizar uma técnica de prensagem ao invés de percussão, como no Marshall, chegou-se a um grau de compactação de 85%, em média.

#### 4.4.2. Ensaio de Imprimação

A realização do ensaio se deu da seguinte forma: (a) finalizada a moldagem dos corpos de prova, estes foram mantidos à temperatura ambiente até perderem no mínimo cerca de 50% do teor de umidade; (b) varreram-se os corpos de prova para eliminação do pó superficial, irrigando-os com água à taxa de 0,5 L/m<sup>2</sup>; (c) após 15 minutos da irrigação, foram imprimados com ADP CM-30 à taxa de 1,2 L/m<sup>2</sup> e mantidos à sombra, pelo período de 72 horas e (d) para a determinação da medida da penetração foram efetuadas 5 leituras ao longo do sentido diametral do corpo de prova, considerando-se como o valor da penetração a média destas leituras. As taxas de irrigação prévia e do ligante aplicado foram controladas através da massa, visando minimizar possíveis interferências causadas por erros na operação. Para o melhor entendimento do procedimento, os passos citados estão ilustrados na Figura 4.

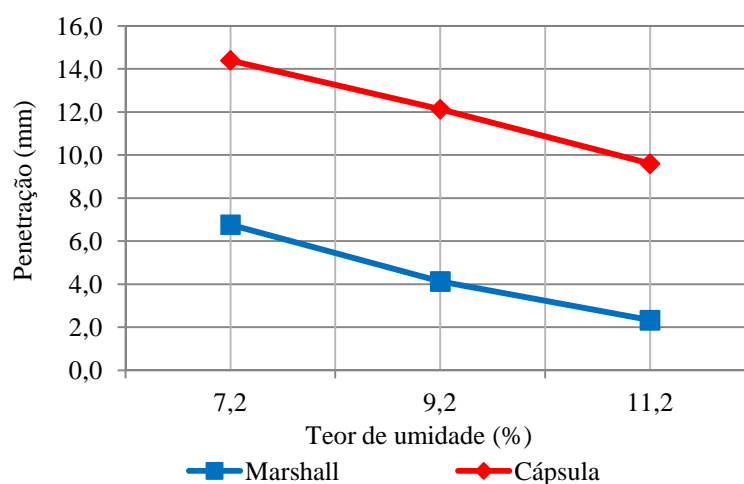
Figura 4 - Detalhamento da sequência do ensaio de imprimação pelo Método da Cápsula



#### 4.5. Comparação dos Resultados dos Ensaio de Imprimação das Cápsulas × Marshall

Os resultados comparativos entre o método Marshall, adaptado por Rabêlo (2006), e o método proposto, postulado como Método da Cápsula, é apresentado na Figura 5. Essa comparação tem por objetivo estabelecer uma relação entre as penetrações obtidas nas mesmas condições de umidade e taxa de aplicação do ligante para os dois métodos testados.

Figura 5 - Resultados da penetração da imprimação para os dois métodos testados (Marshall × Cápsula)



Analisando-se a Figura 5, verificou-se que as penetrações na cápsula foram maiores do que no cilindro Marshall. Isso se deve ao fato do grau de compactação obtido na cápsula não ser de 100%. Atingiu-se um grau de compactação, em média, de 85% no Método das Cápsulas, o que não invalidou os resultados obtidos, pois os mesmos encontram-se dentro de limites satisfatórios, descritos na literatura pesquisada.

Os ensaios realizados nas cápsulas foram mais rápidos. E como utiliza uma quantidade reduzida de material, esta técnica mostrou-se excelente para se testar novos ligantes e/ou bases granulares. Observou-se ainda, que as diferenças de



penetração foram, praticamente, constantes. Para as três umidades testadas, o Método da Cápsula apresentou uma penetração, em torno de 8 mm maior, que o Método Marshall.

Observou-se que valores menores de umidades resultaram em penetrações do ligante maiores e essas diminuíram à medida que o teor de umidade foi maior, mostrando o quanto a umidade é determinante para a penetração do ligante, ainda que essa esteja dentro de limites aceitos pela norma.

## 5. Conclusões

Foi conseguido um grau de compactação, em média, de 85%, isso para uma energia de compactação intermediária utilizada na moldagem Marshall, o que para o objetivo do estudo não invalidou os resultados obtidos.

Observou-se ainda que a aplicação do torque oferecido pelo coesímetro não foi o suficiente para realizar compactações na Cápsula para energias maiores, por uma questão de limitação do próprio aparelho.

Os ensaios utilizando o Método da Cápsula se mostraram mais rápidos do ponto de vista da cura dos corpos de prova, tanto após a moldagem como após a imprimação, otimizando o ensaio de imprimação betuminosa, utilizando-se uma menor quantidade de material e diminuindo o esforço do operador.

O espalhamento do ligante foi mais rápido devido à área da superfície de aplicação ser menor, facilitando assim a operação e possibilitando a aplicação do ligante em todos os corpos de prova sem que houvesse variação significativa na temperatura do ligante.

O desmolde do corpo de prova da Cápsula foi de fácil execução, pois a cápsula é maleável ajudando assim no descolamento do corpo de prova.

As penetrações medidas no Método da Cápsula foram maiores do que no cilindro Marshall. Esse fato é atribuído ao fato do grau de compactação obtido no Método da Cápsula não ter atingido 100%, o que permitiu uma maior passagem do ligante asfáltico, já que a base com o grau de compactação alcançado apresentou um índice de vazios maior, tornando a base mais aberta em comparação à compactação obtida no cilindro Marshall.

O método proposto é recomendado para solos finos, isso se deve as dimensões reduzidas da cápsula. Para solos pedregulhosos, seria necessário o peneiramento da amostra a fim de se utilizar a fração fina do material no ensaio.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP/DET/UFC) pelo apoio operacional concedido e a todas as pessoas envolvidas na construção desse trabalho, fornecimento e coleta de materiais e apoio operacional nos ensaios realizados.

## 7. Referências

- BASTOS, J.B.S. (2013). Estudo da influência da variação da umidade no comportamento de pavimentos da região metropolitana de Fortaleza, Dissertação de M. Sc., Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 187 fl.
- CASTRO, C.A.A. (2003). Estudo da técnica de anti-pó com emulsão de xisto em pavimentos para baixo volume de tráfego. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- DUQUE NETO, F. S. (2004) Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de antipó com emulsão de xisto. Dissertação de M. Sc. Programa de Engenharia Civil, COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- ESTATÍSTICAS. Disponível em <<http://www.abcr.org.br/Conteudo/Secao/43/estatisticas.aspx>> - Acesso em 18 maio 2013, às 21h 18min.
- IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Disponível em <<http://www.ipece.ce.gov.br/cipp/indicadores-socioeconomicos-cipp>> - Acesso em 23 set 2013, às 09h 00min.
- ISHAI, I. e LIVNEH, M. (1984) “Functional and Structural Role of Prime Coat in Asphalt”. Proceedings, The Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 53, Scottsdale, AZ.
- NOGAMI, J. S.; D. F. VILLIBOR; G. T. P. FABBRI. (1989). Imprimadura asfáltica em bases de solo arenoso fino laterítico. Anais da XV Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis.
- RABELO, A. N. (2006). Contribuição ao estudo da imprimação betuminosa das bases rodoviárias do Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 204 fl.

VASCONCELOS, M. A. G. (2009). Primeiro estudo da aplicação de biodiesel como material alternativo para a imprimação betuminosa de pavimentos rodoviários. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

TERMINOLOGIAS Rodoviárias usualmente utilizadas. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/rodovias-federais/terminologias-rodoviaras>> - Acessos em 22 set 2013, às 21h 27min.