



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo Laboratorial de Misturas Asfálticas do Tipo Concreto Asfáltico Dosadas com Diferentes Tipos de Ligantes Asfálticos

AUTORES:

Pedro C. Araújo¹; Manuela M. Lopes² & Jorge B. Soares³

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Ceará

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

^{1, 2, 3, 4} Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia – Campus do Pici, Departamento de Engenharia de Transportes, DET Bloco 703, CEP: 60.455-760, Fortaleza – Ceará – Brasil. Tel: 55 (85) 3366-9488 Ramal: 243

¹ M.Sc.: Engenharia Civil, pcaengenharia@gmail.com

² M.Sc.: Engenharia Civil, manuela@det.ufc.br (autor correspondente)

³ Ph.D.: Engenharia Civil, jsoares@det.ufc.br

ESTUDO LABORATORIAL DE MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO CONCRETO ASFÁLTICO DOSADAS COM DIFERENTES TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS

Resumo

Propõe-se neste trabalho um estudo da utilização de um Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) mais consistente em substituição ao CAP convencionalmente utilizado no estado do Ceará. Misturas asfálticas do tipo Concreto Asfáltico (CA) foram produzidas utilizando-se o CAP 30/45 mais consistente e o CAP 50/70 convencional. O estudo tem o objetivo de verificar o potencial da utilização do ligante mais consistente em misturas asfálticas. Espera-se que este tenha um melhor desempenho quando utilizado nos pavimentos cearenses devido ao clima regional. A dosagem das misturas baseou-se nas especificações Superpave do SHRP (*Strategic Highway Research Program*) e apresentou teores de ligante de projeto semelhantes para os dois CAP. O método de dosagem Superpave tem como premissa adotar um teor de ligante de projeto tal que se tenha um volume de vazios de 4%. A curva granulométrica investigada se enquadra nos limites da Faixa C do DNIT. Ensaio de módulo complexo foram realizados numa ampla faixa de frequências e temperaturas a fim de se avaliar o comportamento viscoelástico das duas misturas. Além disso, ensaios de módulo de resiliência, resistência à tração e vida de fadiga mostram que nas misturas com o CAP mais consistente os resultados foram satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: CAP 30/45, metodologia Superpave, ensaios mecânicos.

Abstract

A study of the use of a more viscous asphalt cement replacing a binder typically used in the state of Ceará is presented. Hot mix asphalts are produced using the more viscous asphalt cement 30/45 and the conventional asphalt cement 50/70. The study intends to evaluate the potential use of the more consistent asphalt cement. It is hoped that this binder is more appropriate for pavement applications given the local climate. The mixture design is based on the Superpave specifications of the Strategic Highway Research Program and resulted in very similar optimum asphalt contents. This mixture design is adopted to select the optimum asphalt content for mixtures with an air voids of 4%. The aggregate sizes fall within the limits of gradation C of DNIT. Complex modulus tests were performed in a large range of frequencies and temperatures in order to assess the viscoelastic behavior of the two mixtures. Furthermore, laboratory tests of resilient modulus, tension strength and fatigue life show that the mixtures with the more viscous asphalt cement presented better results.

KEY WORDS: AC 30/45, Superpave methodology, mechanicals tests.

Introdução

O ligante betuminoso, proveniente do refino do petróleo, é um dos materiais mais utilizados na pavimentação. Tem a característica de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água e pouco reativo (Bernucci et al., 2007). Cimento asfáltico de petróleo (CAP) é o termo designado para esse produto, que é semi-sólido a temperatura ambiente e líquido a temperaturas mais elevadas.

Para se determinar um asfalto adequado para pavimentação, faz-se necessário conhecer suas propriedades. Estas propriedades estão intimamente relacionadas à temperatura a qual o mesmo está submetido. As duas principais características utilizadas para se identificar o asfalto são: (i) dureza, medida pela penetração de uma agulha padrão em uma amostra de ligante, e (ii) resistência ao fluxo, medida por meio do ensaio de viscosidade (Araújo et al., 2008).

O ligante asfáltico caracterizado por penetração como CAP 50/70 é o ligante convencionalmente utilizado nas rodovias do estado do Ceará no Brasil. Devido às altas temperaturas as quais estão submetidos os pavimentos deste estado, vem sendo proposta a utilização de um ligante mais consistente, o CAP 30/45. Este CAP é proveniente do petróleo extraído no Campo Fazenda Alegre e refinado na refinaria da Petrobras localizada em Fortaleza (Lubnor). Resultados mostrados em Soares *et al.* (1999) classificam o CAP 30/45, de acordo com as especificações Superpave, como um PG 70-16 (desempenho adequado para pavimentos trabalhando à temperatura de -16 °C a 70 °C), enquanto que o CAP 50/70 é classificado como um PG 64-16. Isso vem indicar a maior compatibilidade de um ligante mais consistente ao clima regional. De acordo com Viana *et al.* (1996), os pavimentos da região nordeste trabalham com temperaturas máximas de 65,2°C, indicando, portanto, que o CAP que melhor se adequaria a estas condições deveria atender a classificação PG 70.

Neste trabalho, estudaram-se duas misturas asfálticas do tipo Concreto Asfáltico (CA), sendo uma das delas utilizando como ligante o CAP 50/70 e a outra o CAP 30/45. O procedimento de dosagem adotado para a determinação do teor de ligante das misturas deste trabalho é baseado na metodologia Superpave, utilizando o Compactador Giratório Superpave (CGS). As misturas asfálticas foram submetidas aos ensaios mecânicos de Módulo de Resiliência (MR), Resistência à Tração (RT), vida de fadiga e módulo complexo a fim de se comparar o comportamento dos dois tipos de ligante.

Metodologia

Obtenção e Caracterização dos Materiais

Os CAP utilizados nesta pesquisa foram fornecidos pela Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (Lubnor/Petrobras) e são caracterizados por penetração como CAP 30/45 e CAP 50/70. Estes ligantes são oriundos do petróleo nacional do Campo Fazenda Alegre, no estado do Espírito Santo, e atendem às as especificações da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2005).

Os agregados utilizados na pesquisa são de origem granítica e provenientes da Pedreira de Itaitinga – CE. Foram utilizados como agregado graúdo as britas ¾” e 3/8”, como agregado miúdo um pó de pedra da mesma pedreira e como material de enchimento utilizou-se o filer natural. Para caracterização dos agregados, realizaram-se os ensaios de granulometria por peneiramento (DNER-ME083-98); absorção e densidade do agregado graúdo (DNER-ME081-98); abrasão Los Angeles (DNER-ME035-98); índice de forma (DNER-ME 86/94); densidade real do agregado miúdo (DNER-ME084-95). A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização e a Figura 1 mostra o ensaio de adesividade. Observa-se que o CAP 30/45 obteve uma melhor adesividade.

Tabela 1: Caracterização dos Agregados

Ensaio	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo
Densidade real	2,655	2,652
Densidade aparente	2,599	2,615
Absorção (%)	0,81	0,55
Abrasão Los Angeles (%)		46
Índice de Forma		0,66



(a) CAP 30/45

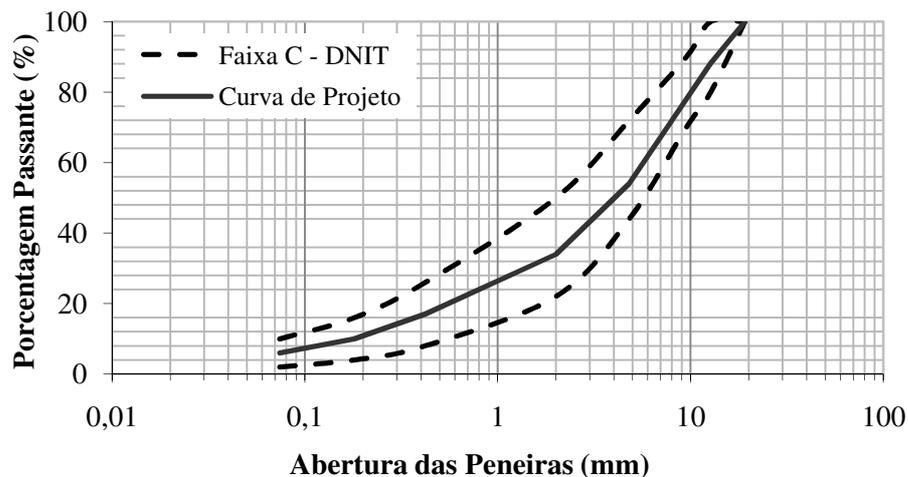


(b) CAP 50/70

Figura 1: Ensaio de adesividade

Dosagem

Para realizar a dosagem da mistura CA, definiu-se, primeiramente, uma curva granulométrica que se enquadrasse na faixa C do DNIT 031/2004-ES (Figura 2). Os procedimentos de dosagem para a determinação de teor de projeto de ligante seguiu a metodologia Superpave, que tem como premissa adotar um teor de ligante de projeto tal que se tenha um volume de vazios de 4%. No preparo das misturas, o CAP 50/70 e o CAP 30/45 foram aquecidos a 160°C e os agregados a 175°C, sendo em seguida misturados. Na compactação, adotou-se 100 giros no compactador giratório à temperatura de 150°C. A Tabela 2 mostra o resumo dos parâmetros de dosagem obtidos. Observa-se que os teores de projeto das duas misturas podem ser considerados iguais já que o desvio admissível no controle de campo é de 0,3% (DNER ES 313/97).

**Figura 2:** Curva Granulométrica**Tabela 3:** Parâmetros da dosagem Superpave

Parâmetros	Misturas	
	CAP 30/45	CAP 50/70
Teor de ligante	6,0%	6,2%
Volume de vazios	4,5%	4,0%
Densidade aparente	2,322	2,311
VAM	16,5	17,3
RBV	68,5	79,4

Resultados e Discussão

Ensaio Mecânicos

Módulo de Resiliência e Resistência à Tração por Compressão Diametral

Foram moldados corpos de prova (CPs) no teor de ótimo de ligante selecionado para os dois tipos de CAP. Para os ensaios de Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Tração (RT) foram

moldados CPs de 100 mm de diâmetro por 65 mm de altura seguindo as normas DNER- ME 133/94 e DNER-ME 138/94, respectivamente, que foram ensaiados à temperatura de 25°C. A Tabela 4 apresenta os resultados para cada mistura.

Tabela 4: Resultados do ensaio de módulo de resiliência e resistência à tração estática (25°C).

Mistura	RT (MPa)	MR (MPa)	MR/RT
CA - CAP 50/70	0,88	2982	3389
CA - CAP 30/45	1,20	3898	3248

Comparando os resultados obtidos, verifica-se que no caso do CAP 30/45, por ser um ligante de maior viscosidade em relação ao CAP 50/70, chega-se a valores maiores para o MR e RT. Na última coluna, apresenta-se a razão entre MR e RT, obtendo um valor menor quando se usa o CAP 30/45, apesar do MR e RT do mesmo serem maiores. A razão entre esses parâmetros, do ponto de vista da análise, vem sendo usada como um indicador da vida de fadiga das misturas asfálticas, sendo mais desejável um valor pequeno da razão, dado que, com frequência, busca-se uma baixa rigidez para evitar elevada absorção de tensões que levem ao trincamento prematuro do revestimento e uma alta resistência à tração, uma vez que a mistura vai resistir mais a esforços de tração.

Vida de Fadiga

O ensaio de vida de fadiga, convencionalmente utilizado no Brasil para definição do número de repetições de carga, é feito por compressão diametral à tensão controlada (TC), sendo a carga aplicada numa frequência de 1Hz por meio de um equipamento pneumático (Bernucci et al., 2007). Na presente pesquisa, o ensaio foi realizado com três níveis de tensão, 30, 40 e 50% do valor de RT. Para cada nível de tensão foram realizados três ensaios, totalizando 9 ensaios para cada mistura. Ao final dos ensaios, traçou-se uma curva (Figura 3) que representa o número de golpes de ruptura para o nível de tensão aplicado no corpo de prova.

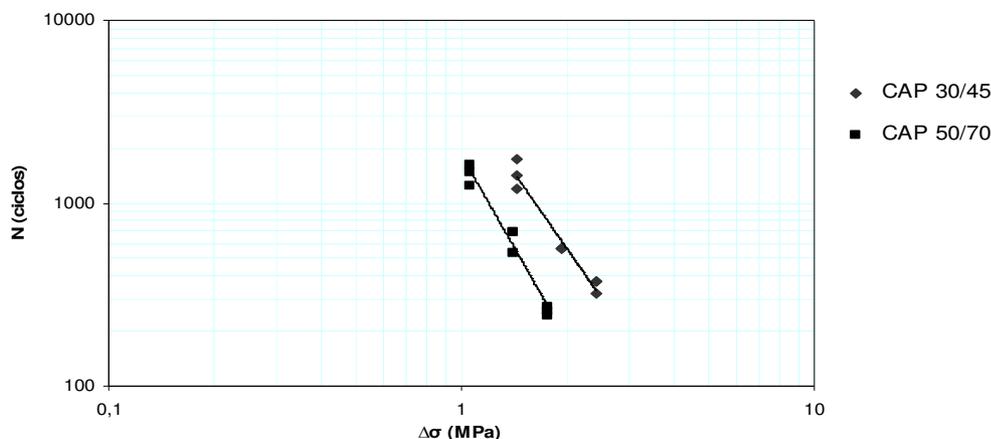


Figura 3: Vida de fadiga versus diferença de tensões para as misturas estudadas.

Observa-se que as misturas com o CAP 30/45 receberam um número maior de golpes até o rompimento do CP e apresentaram valores de diferença de tensões $\Delta\sigma$ mais elevados. Conclui-se, então, que estas misturas apresentaram uma maior vida de fadiga. Castelo Branco (2004) observa que o número de aplicações de carga em campo é bem mais elevado que em laboratório, sendo mais importante a inclinação das retas do que o fato de uma estar acima da outra. Deste ponto de vista, analisando-se a inclinação das retas (Figura 3), pode-se prever que, para níveis de tensões cada vez mais baixos, as misturas com CAP mais consistente teria sua vida de fadiga superada pelas misturas com CAP convencional.

Módulo Complexo

O ensaio de módulo complexo vem sendo realizado desde a década de 1960 como uma alternativa ao módulo de resiliência na caracterização mecânica das misturas (Bernucci *et al.*, 2007). Devido ao comportamento viscoelástico oriundo do ligante asfáltico, o revestimento responde de forma diferente aos carregamentos estáticos e dinâmicos, de maneira que, para carregamentos lentos, têm-se respostas mais viscosas, enquanto que para carregamentos rápidos, têm-se respostas elásticas (Medeiros, 2006).

Materiais viscoelásticos apresentam relação tensão-deformação sob carregamento harmônico definida pelo módulo complexo E^* (PRITZ, 1998). Este módulo é composto por uma parte real e uma imaginária, representativas do comportamento elástico e viscoso do material, respectivamente. A relação entre as amplitudes de tensão (σ_0) e deformação (ϵ_0) define o valor absoluto do módulo complexo E^* , chamado de módulo dinâmico. Em misturas asfálticas, este parâmetro é obtido usualmente por meio de um carregamento senoidal aplicado axialmente em corpos-de-prova cilíndricos. Na Figura 4 são mostrados as curvas de tensão e deformação de um ensaio de módulo complexo. Ressalta-se a defasagem que há entre as duas curvas.

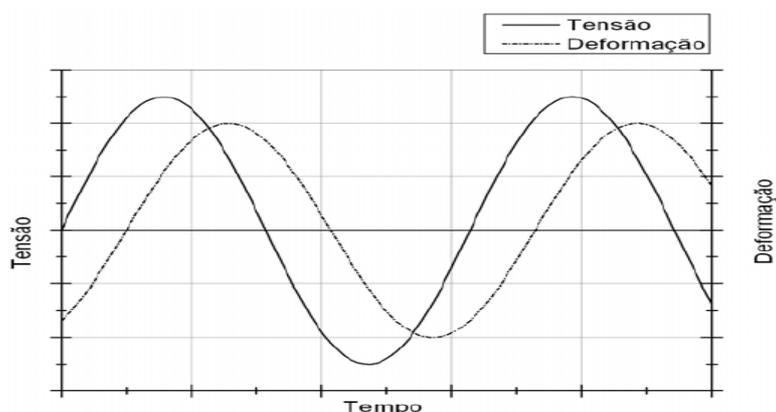


Figura 4: Curvas de tensão e deformação de um ensaio de módulo complexo (MEDEIROS, 2006).

Com o intuito de se construir uma curva mestra que incorpore os efeitos das variáveis frequência e temperatura, faz-se necessário a realização do ensaio numa maior quantidade de temperaturas e frequências. Realizou-se o ensaio de módulo complexo, portanto, nesta pesquisa, nas temperaturas de -5; 5; 15; 25 e 40°C e nas frequências (f) de 0,01; 0,1; 1 e 10 Hz. Os resultados dos ensaios são apresentados na Figura 11 e Tabela 13.

Tabela 13:1 Resultados do ensaio de módulo dinâmico para as misturas estudadas.

TEMP. °C	FREQ. Hz	CAP 30/45		CAP 50/70	
		MOD. DINÂMICO (MPa)	ANGULO DE FASE (Graus)	MOD. DINÂMICO (MPa)	ANGULO DE FASE (Graus)
-5	10	20149	6,41	22256	11,38
	1	18167	7,10	18331	11,25
	0,1	14942	9,04	14336	13,86
	0,01	11912	11,88	10365	17,10
5	10	19684	11,44	16625	17,34
	1	15061	16,85	11970	18,75
	0,1	10711	20,60	7673	23,58
	0,01	6749	24,30	4329	29,45
15	10	12830	24,37	10295	26,10
	1	8201	27,42	6155	31,23
	0,1	4437	32,73	3066	36,51
	0,01	2054	37,16	1389	37,96

25	10	7196	27,14	5304	31,13
	1	3724	28,93	2586	34,10
	0,1	1702	35,89	1194	32,97
	0,01	813	30,62	626	28,28
40	10	3102	11,13	1602	17,92
	1	1377	18,23	876	19,94
	0,1	749	16,34	522	18,58
	0,01	543	11,88	378	17,99

Os resultados do ensaio de módulo complexo mostram que à medida que se diminui a temperatura e aumenta a frequência, o módulo dinâmico se eleva. Observa-se ainda que o ângulo de fase diminui à medida que se aumenta a frequência do carregamento, mantendo-se a temperatura constante. Medeiros (2006) apresenta resultados de módulo dinâmico e ângulo de fase com comportamento semelhante.

A análise comparativa das misturas com o CAP 30/45 e CAP 50/70 mostra que a mistura com o CAP 30/45 apresenta módulo dinâmico mais elevado, o que já se esperava. Pode-se dizer que, com relação ao ângulo de fase, em geral, as misturas com CAP mais consistente apresentaram valores inferiores para este parâmetro. Os resultados de módulo complexo mostrados neste trabalho são obtidos a partir do cálculo da média de resultados de 3 corpos-de-prova. Eliminando-se os valores extremos encontrados durante a realização do ensaio à temperatura de -5°C, obtêm-se as curvas apresentadas na Figura 5.

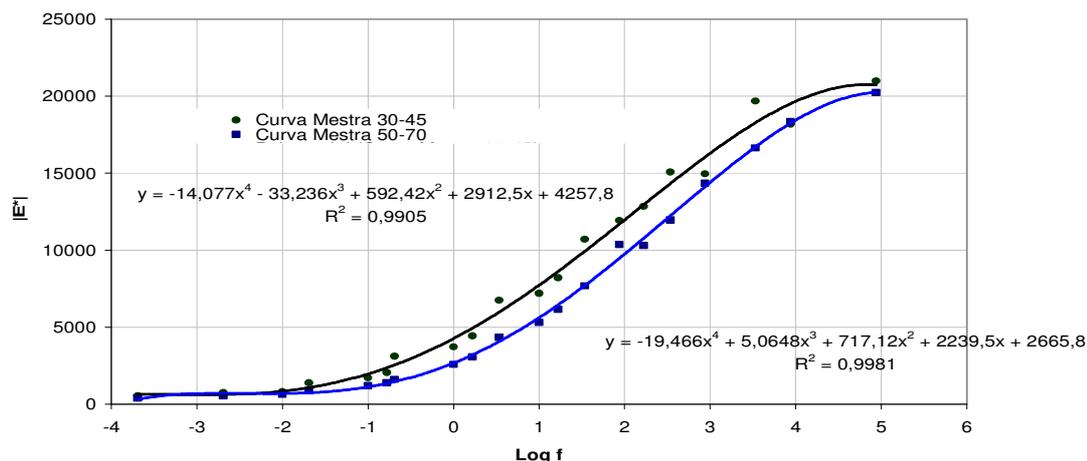


Figura 5: Curvas mestras obtidas eliminando-se os valores extremos encontrados durante a realização do ensaio.

CLOCLUSÕES

O CAP mais consistente não apresentou um teor ótimo de ligante mais elevado. Os resultados de dosagem foram bem semelhantes, o que contraria a idéia de que as misturas com um ligante mais viscoso resultaria em um teor ótimo mais elevado. As misturas com o CAP mais consistente obtiveram valores de RT mais elevados em relação ao CAP convencional. Os valores de MR foram superiores para as misturas com CAP 30/45. A relação MR/RT obtida foi superior para as misturas com CAP 50/70. No ensaio de vida de fadiga, observou-se que as misturas com CAP mais consistente apresentaram vida de fadiga mais elevada para os níveis de tensão estabelecidos nesta pesquisa. Entretanto, viu-se que para níveis de tensão bem inferiores, a mistura com o CAP convencional poderia superar a vida de fadiga da mistura com o CAP 30/45. A mistura com o CAP mais consistente apresentou resultados de módulo complexo mais elevado, assim como valores de ângulo de fase inferiores quando comparado aos valores obtidos pelas misturas com CAP convencional.

Agradecimentos

Agradecimentos são devidos (i) à CAPES pelo apoio à pesquisa na forma de uma bolsa de mestrado ao primeiro o terceiro autor; (ii) ao Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT pelo apoio na forma de bolsa de mestrado à segunda autora e (iii) ao CNPQ pela bolsa de produtividade ao terceiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP (2005) Resolução ANP Nº 19, de 11.7.2005 DOU 12.7.2005. Regulamento técnico Nº 3/2005. Agência Nacional do Petróleo.
- Araújo Jr., P.C.; Vale, A.C.; Soares J.B.; Casagrande M.D.T. (2008) Análise Laboratorial do Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP 30/45 – em Misturas Asfálticas. 19º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Araújo Jr., P.C.; Vale A. C.; Casagrande M.D.T; Soares, J.B. (2008) Desempenho do Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP 30/45 - em Misturas Asfálticas de Revestimento. 15ª Reunião de Pavimentação Urbana. Salvador, BA, Brasil.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.. (2007) Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ.
- CASTELO BRANCO, V. T. F. (2004) Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER-ME 81 (1998) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo.
- DNER-ME 84 (1995) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Agregado miúdo – determinação da densidade real.
- DNER-ME 35 (1998) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Agregado – determinação da abrasão “Los Angeles”.
- DNER-ME 86 (1994) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Agregado – determinação do índice de forma.
- DNER-ME 133 (1994) Misturas Betuminosas – Determinação do Módulo de Resiliência, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-ME 083 (1998) Agregado – análise granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-ME 031 (2004) Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-ME 138 (1994) Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-ME 313 (1997) Pavimentação – Concreto Betuminoso, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MEDEIROS JUNIOR, M. S. (2006) Estudo de Interconversão entre o Módulo Complexo e a Creep Compliance na Caracterização de Misturas Asfálticas. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 123 fl.
- PRITZ, T. (1998) Frequency Dependences of Complex Modulus and Complex Poisson`s Ratio of Real Solid Materials, Journal of Sound and Vibration, n 214, pp 83-104.
- SOARES, J.B., MOTTA, L.M., LEITE, L.M. e BRANCO, J.V.C. (1999) O efeito da consistência do CAP no teor ótimo e nas propriedades das misturas asfálticas. *Aceito para publicação no XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos.