

ESTUDO DO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO DE PLACAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

Gracieli Bordin Colpo

Engenheira Civil pela UNIPAMPA (2011). Mestra em Geotecnia pela UFRGS (2014).
Professora Associada da ULBRA. E-mail: <grabc@hotmail.com>.

Douglas Martins Mocelin

Engenheiro Civil pela UFRGS (2015). Mestrando no Programa de Pós-Graduação da UFRGS.
E-mail: <douglas.martins.m@hotmail.com>.

Lélio Antônio Teixeira Brito

Engenheiro Civil pela UFRGS (2003). Mestre em Geotecnia pela UFRGS (2006). PhD em Engenharia pela
University of Nottingham (2011). Professor Associado da PUCRS. E-mail: <lelio.brito@pucrs.br>.

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Engenheiro Civil pela UFRGS. Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS. Doutor em Engenharia Civil
pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991). Professor Associado 4 e professor do Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. E-mail: <jorge.ceratti@ufrgs.br>.

RESUMO

A fadiga é considerada um dos problemas de maior relevância que ocorre nas misturas asfálticas, pois resulta na degradação dos materiais que compõe o pavimento asfáltico e, conseqüentemente, da estrutura do pavimento (Di Benedetto *et al.*, 2004). O ensaio laboratorial mais utilizado no Brasil para analisar a fadiga de misturas é o de tração indireta por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos, porém nos últimos anos tem-se empregado o ensaio de flexão em quatro pontos, utilizando corpos de prova prismáticos, para caracterizar este fenômeno em misturas asfálticas. Contudo, este ensaio ainda não possui normatização e o processo de moldagem e compactação dos corpos de prova acaba sendo discutido por muitos pesquisadores. Neste sentido, o presente trabalho verificou em laboratório a metodologia empregada para moldagem e compactação de placas de concreto asfáltico, das quais são extraídos corpos de prova prismáticos utilizados no ensaio de flexão em quatro pontos para analisar o comportamento à fadiga. Para realizar este estudo foram utilizadas duas misturas, sendo uma denominada de CA-TLA, composta por ligante modificado por polímero e adição de TLA, e outra denominada de CA-E, com ligante modificado por polímero (AMP - 60/85). O processo de moldagem e compactação foi realizado em uma usina de asfalto (km 30 da BR-290/RS). As placas produzidas foram serradas para extração dos corpos de prova com os quais foram realizados ensaios para determinação de parâmetros volumétricos e grau de compactação. Os resultados obtidos mostram que a metodologia de moldagem e compactação empregada foi adequada, apresentando valores de volume de vazios e grau de compactação coerentes com os limites especificados na norma do DNIT (DNIT-ES 031, 2006) e com os valores obtidos nos projetos das misturas estudadas.

Palavras-chave: Concreto asfáltico, Compactação, Fadiga, Flexão a quatro pontos.

INTRODUÇÃO

Em laboratório a caracterização do comportamento à fadiga das misturas asfálticas é influenciada por diferentes fatores, como a preparação dos corpos de prova, as características dos ensaios empregados, os fatores relacionados com as propriedades da mistura asfáltica e condições ambientais (Tangella *et al.*, 1990). Estes fatores precisam ser considerados, uma vez que, o desempenho à fadiga das misturas em campo é diferente do determinado em laboratório e, por esse motivo torna-se necessário a utilização de um fator laboratório-campo (*shift-factor*) para estimar a vida de fadiga destas misturas no campo.

Ensaio laboratoriais são fundamentais para determinar os modelos de fadiga, comumente estabelecidos pela relação entre o estado de tensão-deformação e o número de ciclos de carga até atingir a ruptura. Estes ensaios consideram cargas repetidas em que as amostras são conduzidas a diferentes níveis de tensão ou deformação, devendo reproduzir o mais próximo possível as condições estabelecidas em campo. Os ensaios geralmente realizados em laboratório para determinar a vida de fadiga são os de tração e compressão simples, de flexão em dois, três e quatro pontos e de tração indireta.

No Brasil, o ensaio laboratorial comumente empregado para analisar a vida de fadiga das misturas asfálticas é o de tração indireta por compressão diametral, em corpos de prova cilíndricos. O emprego do ensaio de fadiga à flexão em quatro pontos ainda não é muito difundido, existem poucos laboratórios que realizam este ensaio e não há normatização brasileira para sua utilização.

Pelo fato de não haver diretrizes para realização deste ensaio, o processo de moldagem das

amostras acaba sendo um ponto de discussão. Com isso, o objetivo geral deste estudo foi verificar em laboratório a metodologia empregada para moldagem e compactação de placas de concreto asfáltico, das quais são extraídos corpos de prova prismáticos utilizados no ensaio de flexão em viga quatro pontos. Este trabalho foi realizado através de uma parceria entre o Laboratório de Pavimentação da UFRGS (Lapav), a Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A – Concepa e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) por meio de uma Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) e, também, fez parte de uma pesquisa de mestrado (Colpo, 2014).

SISTEMA DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

Diferentes métodos de compactação podem ser empregados na produção de corpos de prova destinados ao ensaio de fadiga à flexão em quatro pontos.

A Universidade da Califórnia localizada em Berkeley, Califórnia, nos Estados Unidos, tem utilizado um sistema de moldes composto por um conjunto de chapas metálicas, formando três gabaritos que se diferem pelo tamanho total das placas, sendo possível observar a configuração deste sistema na Figura 1(a). No campo, a universidade dispõe de um sistema de moldes de placas com maiores dimensões e fixadas em bases compactadas de mistura asfáltica (Figura 1 (b)). Salienta-se que os sistemas de moldes devem apresentar uma resistência capaz de suportar um rolo compactador.



Figura 1 - Sistemas de moldes empregados pela Universidade da Califórnia para produção de vigotas em laboratório (a) e em campo (b) destinadas a ensaios de fadiga a quatro pontos.

Após o preenchimento dos moldes com mistura asfáltica é realizado o processo de compactação das placas utilizando rolos compactadores, conforme mostra a Figura 2. Ressalta-se o cuidado que se deve ter com a densidade da mistura para que se atinja o volume de vazios alvo.



Figura 2 - Compactação das placas de misturas asfálticas utilizando rolo compactador, empregado na Universidade da Califórnia.

Outra metodologia foi utilizada por Fontes (2009), que moldou placas de misturas asfálticas em laboratório, com o intuito de obter corpos de prova em formato de vigotas para ensaiar à flexão em quatro pontos, utilizando moldes metálicos e rolo liso de médio porte. A compactação foi realizada até atingir a densidade aparente de projeto da mistura empregada, sendo que após o processo de compactação as placas permaneceram no molde até completo resfriamento e, posteriormente as mesmas foram serradas para obtenção das vigas.

Os corpos de prova prismáticos, também, podem ser moldados individualmente através de um molde metálico que é submetido a uma pequena pressão de 1,40 kPa por meio de uma placa rígida para acomodação do material, aplicando na amostra um carregamento harmônico (haversine) à tensão controlada, com uma amplitude de 1,40 MPa e frequência de 2,0 Hz. Este procedimento de moldagem e compactação foi empregado por Mello (2008). Após o processo de compactação a vigota é serrada nas dimensões especificadas por norma obtendo, assim, superfícies lisas que visam reduzir a variabilidade dos ensaios e eliminar possíveis micro-trincas, produzidas durante a compactação da mistura asfáltica, na base da amostra.

Tabela 1 - Resumo das propriedades da mistura CA-TLA e da mistura CA-E.

Mistura	% Ligante	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	DMM	DMT	DAP
CA-TLA	5,10	4,10	16,40	75,00	2,530	-	2,428
CA-E	5,25	4,00	16,20	75,00	-	2,450	2,360

A norma europeia EN 12697-33 (2003) especifica o método de compactação de placas utilizando a mesa compactadora LCPC – *Laboratoire Central des Ponts Chaussées*. Neste método a mistura asfáltica é compactada por amassamento através de uma sequência de passagens de um pneu padronizado, sendo possível determinar a pressão de inflação dos pneus, a carga de eixo, o número de passagens e o local destas passadas, com o intuito de sobrepor parcialmente o local de uma passada em relação à anterior, visando o modo de compactação em campo (Moura, 2010).

Diferentes métodos de compactação e moldagem são empregados para obtenção de corpos de prova prismáticos destinados ao ensaio de flexão à quatro pontos, sendo que cuidados relacionados ao volume de vazios, direção da compactação e serragem das placas para obtenção das vigotas nas dimensões estabelecidas por norma devem ser tomados para que não interfiram nos resultados da determinação da vida de fadiga das misturas asfálticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada no Lapav/UFRGS em conjunto com a Concepa e a usina de asfalto da Construtora Triunfo, localizada no km 30 da BR-290/RS. Para realizar as moldagens das placas de concreto asfáltico foram utilizadas duas misturas, sendo uma denominada de CA-TLA, com cimento asfáltico de petróleo (CAP) modificado por polímero e adição de TLA, e a outra denominada de CA-E, com CAP modificado por polímero (AMP 60/85). Estas misturas foram produzidas na usina de asfalto.

Na Tabela 1 estão resumidas as propriedades finais das misturas CA-TLA e CA-E como volume de vazios (VV), vazios de agregados minerais (VAM), relação betume-vazios (RBV), densidade máxima medida obtida pelo método do Rice (DMM), densidade máxima teórica (DMT) e densidade aparente (DMT). O volume de vazios adotado para determinação do teor de ligante de projeto foi o mais próximo de 4%.

A moldagem e compactação das placas de mistura asfáltica foram realizadas em uma pista de concreto adaptada na usina de asfalto, similar ao modelo apresentado pela Universidade da Califórnia - Berkeley.

A opção por construir a pista, para fixar os moldes, na usina se deu pela dificuldade em se produzir grandes quantidades de mistura as-

fáltica em laboratório (cerca de 40kg por molde), sendo então utilizada a mistura produzida na própria usina.

Para realizar as moldagens das placas foram fabricados moldes metálicos (Figura 3), com comprimento de 58,8 cm, largura de 69,1 cm e altura de 8,0 cm, através da usinagem de chapas metálicas com espessura de 9,53 mm.

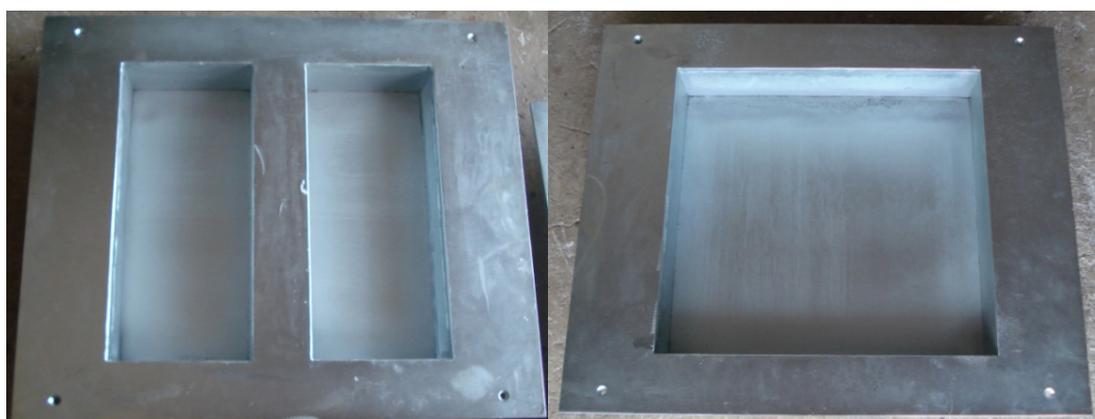


Figura 3 - Moldes usinados para moldagem de vigotas.

Os moldes foram fixados em uma pista de concreto com o objetivo de evitar possíveis des-

locamentos durante a compactação das placas, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 - Pista de moldagem construída na usina de asfalto para produção das placas de misturas asfálticas.

Para realizar as moldagens das placas utilizou-se um papel que possui um dos lados liso, o qual fica em contato direto com o molde. O emprego deste papel tem como objetivo evitar a aderência da mistura asfáltica no molde, além de auxiliar na retirada das placas do interior dos moldes metálicos (Figura 5). Além disso, vale ressaltar que as faces dos moldes metálicos apresentam uma inclinação de três graus, com o objetivo de melhorar a remoção das placas de mistura asfáltica.



Figura 5 - Utilização de papel nos moldes metálicos.

A compactação das placas foi realizada com um rolo compactador e este processo foi controlado através da densidade aparente obtida no projeto de dosagem da mistura. A temperatura

de compactação também foi controlada durante o processo, como mostra a Figura 6. Os detalhes sobre este sistema de moldagem e compactação podem ser encontrados em Colpo (2014).



Figura 6 - Processo de compactação e controle de temperatura da mistura asfáltica.

Para realizar os procedimentos de corte das placas e obter vigotas nos tamanhos estipulados por norma, utilizou-se uma serra automatizada com velocidade constante (Figura 7). O emprego deste processo de serragem teve como objetivo obter um corte preciso e vigotas com uma superfície uniforme, sem a presença de ranhuras que pode-

riam influenciar os resultados. Nesta pesquisa foram produzidas vigotas nas dimensões 380 mm de comprimento, 63 mm de largura e 50 mm de altura, após as faces serem serradas, buscando atender as dimensões e critérios de faceamento recomendados pela norma da AASHTO T-321 (2007), em virtude de não se ter ainda norma brasileira.



Figura 7 - Processo de corte das placas de mistura asfáltica para obtenção das vigotas.

RESULTADOS

Para verificação do método empregado na produção das amostras, foram realizados alguns ensaios para determinação da densidade aparente dos corpos de prova seguindo os procedimentos preconizados pela norma NBR 15573 (2012), também buscou-se determinar a porcentagem de volume de vazios (VV) e o grau de compactação (GC) destas amostras, de acordo com os critérios estabelecidos na norma DNIT 031-ES (2006). Salienta-se que estes ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25°C).

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os resultados de densidade aparente, porcentagem de volume de vazios e grau de compactação obtidos nos corpos de prova prismáticos moldados com a mistura asfáltica CA-TLA e a mistura CA-E. Salienta-se que o valor de densidade aparente de projeto para a mistura CA-TLA e a CA-E foi de 2,428 e 2,360, respectivamente.

Tabela 2- Resultados da densidade aparente, percentagem de volume de vazios e grau de compactação das vigotas moldadas com a mistura CA-TLA.

Mistura	Identificação das vigotas	Densidade Aparente	Volume de Vazios (%)	Grau de Compactação (%)
CA-TLA	1	2,413	4,6	99
	2	2,424	4,2	100
	3	2,415	4,6	99
	4	2,420	4,4	100
	5	2,425	4,1	100
	6	2,404	5,0	99
	7	2,404	5,0	99
	8	2,403	5,0	99
	9	2,407	4,8	99
	Média	2,413	4,6	99
	Des. Padrão	0,01	0,34	0,37
	Coef. Variação	0,4%	7,4%	0,4%

Tabela 3 - Resultados da densidade aparente, percentagem de volume de vazios e grau de compactação das vigotas moldadas com a mistura CA-E.

Mistura	Identificação das vigotas	Densidade Aparente	Volume de Vazios (%)	Grau de Compactação (%)
CA-E	1	2,376	3,0	101
	2	2,368	3,4	100
	3	2,366	3,4	100
	4	2,336	4,7	99
	5	2,350	4,1	100
	6	2,340	4,5	99
	7	2,348	4,2	99
	8	2,376	3,0	101
	9	2,348	4,1	100
	10	2,340	4,5	99
	11	2,371	3,2	100
	12	2,341	4,4	99
	13	2,330	4,9	99
	14	2,362	3,6	100
	15	2,343	4,4	99
	16	2,358	3,7	100
	17	2,375	3,1	101
	18	2,354	3,9	100
	Média	2,355	3,9	100
Des. Padrão	0,01	0,61	0,65	
Coef. Variação	0,6%	15,7%	0,7%	

Os resultados de densidade aparente, percentagem de volume de vazios e grau de compactação das vigotas produzidas com a mistura CA-TLA e CA-E podem ser visualizados nas Fi-

guras 8, 9, 10, 11, 12 e 13, onde também é possível observar como ocorreu a variação de resultados entre as vigotas estudadas.

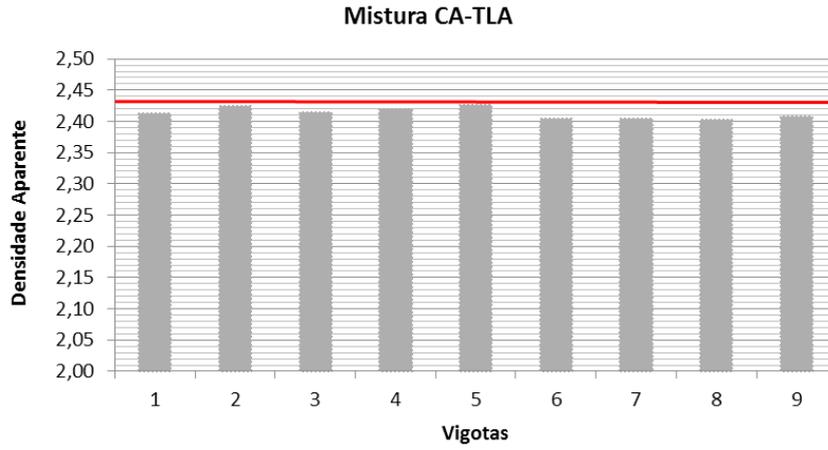


Figura 8 - Densidade aparente das vigotas moldadas com a mistura CA-TLA.

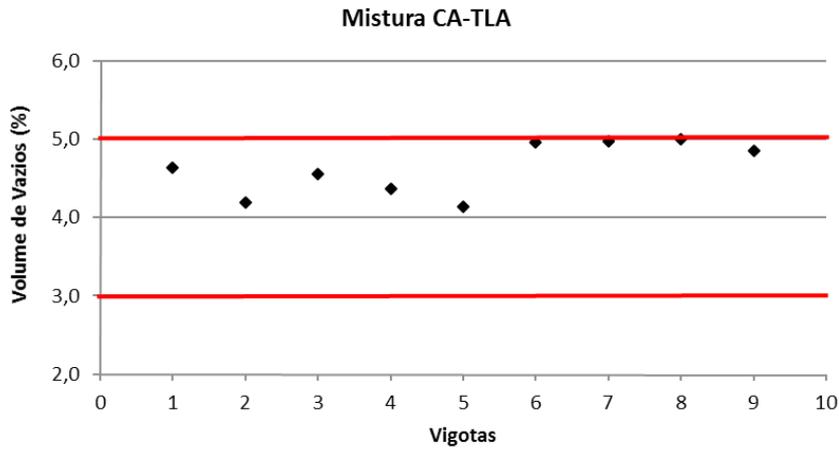


Figura 9 - Resultados da percentagem de volume de vazios (VV) das vigotas moldadas com a mistura CA-TLA.

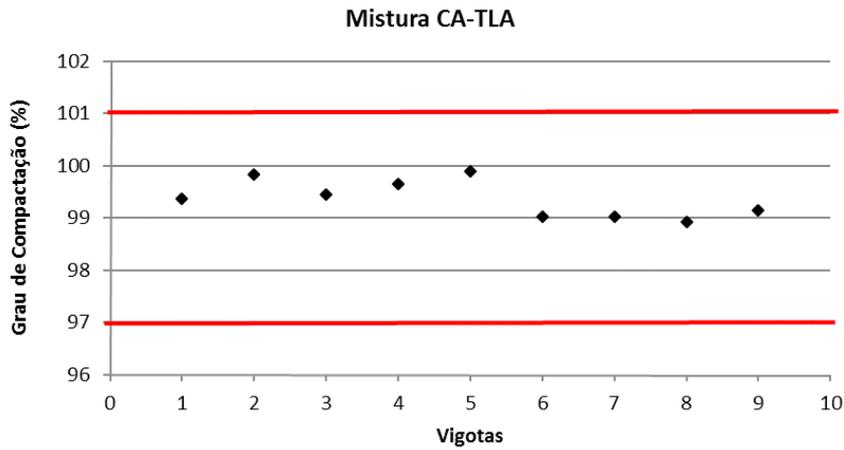


Figura 10 - Resultados do grau de compactação (GC) das vigotas moldadas com a mistura CA-TLA.

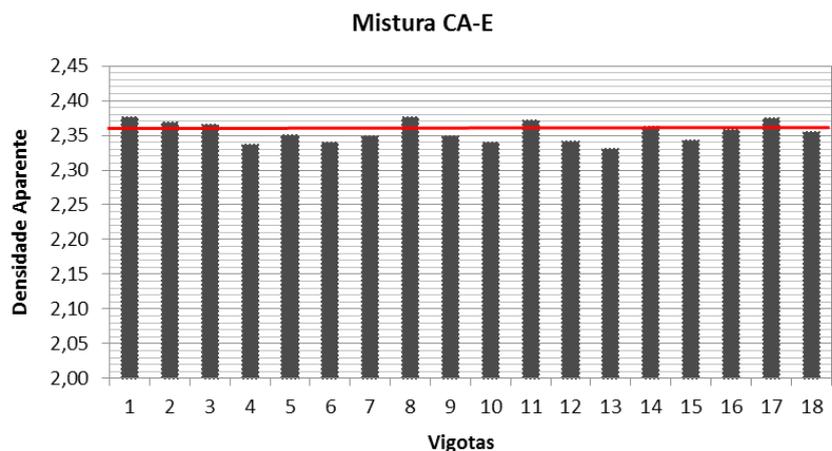


Figura 11 - Densidade aparente das vigotas moldadas com a mistura CA-E.

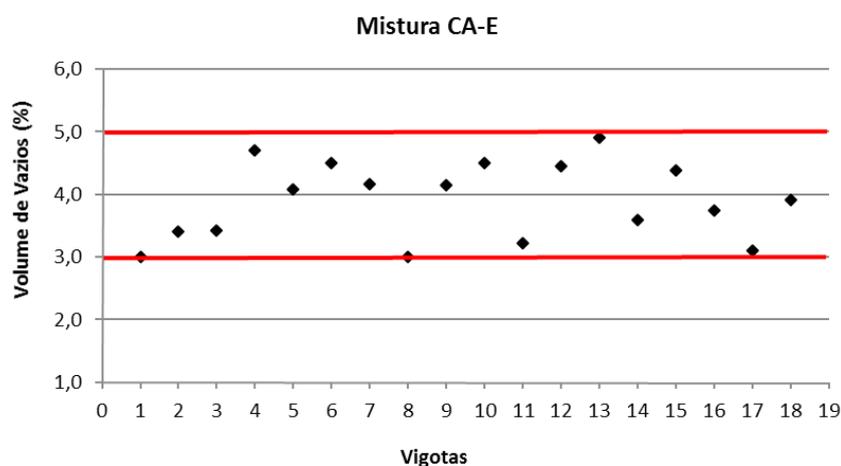


Figura 12 - Resultados da percentagem de volume de vazios (VV) das vigotas moldadas com a mistura CA-E.

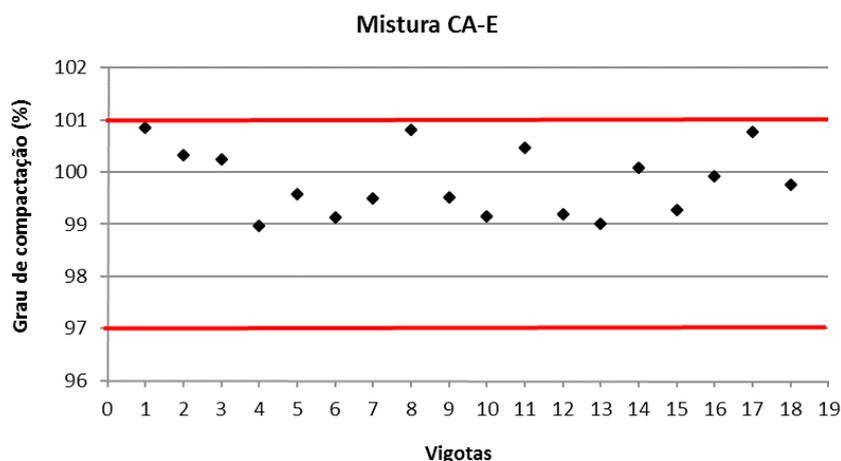


Figura 13 - Resultados do grau de compactação (GC) das vigotas moldadas com a mistura CA-E.

Constatou-se que os resultados das densidades aparentes, obtidas nas vigotas extraídas das placas moldadas na usina de asfalto, estão coerentes com os valores estabelecidos nos projetos de ambas as misturas asfálticas estudadas. As percentagens de volume de vazios das misturas

CA-TLA e CA-E apresentaram uma maior variação de resultados, como evidenciado pelos coeficientes de variação determinados. Isto pode ter ocorrido devido ao processo de pré-compactação ser manual, podendo influenciar na homogeneidade da mistura no interior dos moldes.

Observa-se que os resultados de volume de vazios das misturas CA-TLA ficaram entre 4,1% e 5% e da mistura CA-E entre 3% e 4,9%, enquanto que o grau de compactação obtido para a mistura CA-TLA apresentou valores entre 99% e 100% e para a mistura CA-E ficou entre 99% e 101%. Estes resultados mostram que a metodologia empregada para a compactação das placas está adequada, pois apresenta resultados semelhantes aos obtidos nos projetos destas misturas e obedece aos limites de volume de vazios (3% a 5%), considerando o emprego da mistura em camadas de rolamento, e do grau de compactação (97% a 101%) especificados pela norma do DNIT-ES 031 (2006).

Com o objetivo de verificar a homogeneidade da compactação ao longo da vigota, realizou-se o corte de uma amostra em quatro partes, como mostra a Figura 14, sendo determinada a densida-

de aparente, a percentagem de volume de vazios e o grau de compactação de cada uma das partes.



Figura 14 - Vigota dividida em quatro partes para ensaio de densidade aparente, grau de compactação e volume de vazios.

Os resultados obtidos para cada uma das quatro divisões estão mostrados nas Figuras 15, 16 e 17, onde é possível visualizar uma pequena variação ao longo da vigota, evidenciando a homogeneidade da compactação obtida através deste método. Os resultados de percentagem de volume de vazios ficaram entre 3,0% e 3,4% e o grau de compactação entre 100% e 101%, valores estes coerentes com os limites estabelecidos.

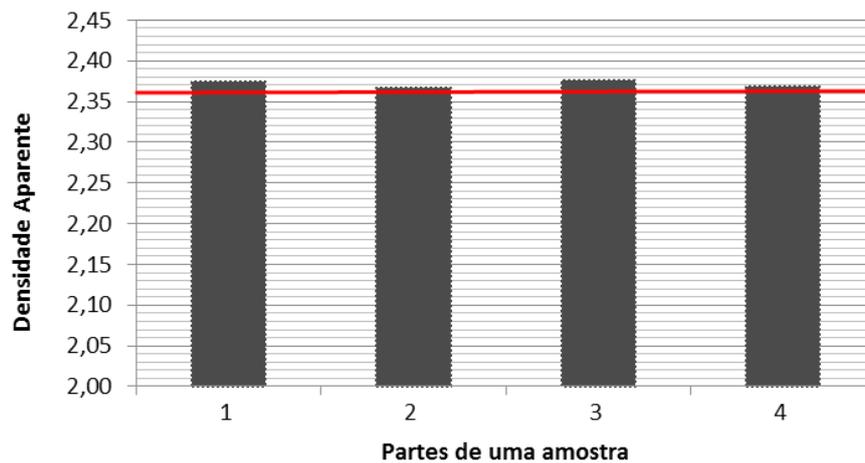


Figura 15 - Densidade aparente das partes de uma vigota moldada com a mistura CA-E.

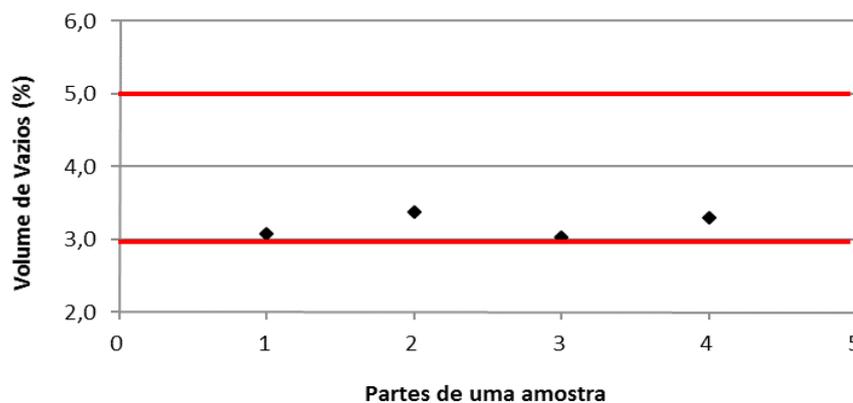


Figura 16 - Resultados da percentagem de volume de vazios (VV) das partes de uma vigota moldada com a mistura CA-E.

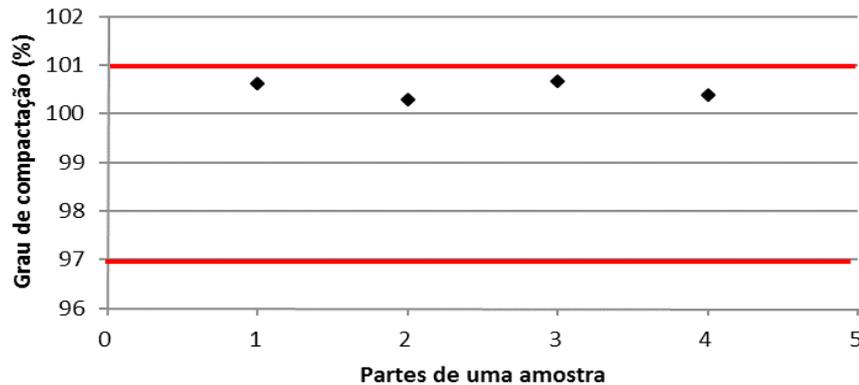


Figura 17 - Resultados do grau de compactação (GC) das partes de uma vigota moldada com a mistura CA-E.

CONCLUSÕES

O presente estudo objetivou a validação de um método de moldagem e compactação de placas para posterior extração de vigotas nos tamanhos compatíveis com as dimensões necessárias para o ensaio de fadiga em quatro pontos.

O processo de extração e corte das vigotas foi realizado em uma marmoraria com o objetivo de obter vigotas no tamanho padrão e com superfícies isentas de irregularidade, a fim de não influenciar nos resultados dos ensaios.

Os corpos de prova prismáticos apresentaram valores de densidade aparente, percentagem de volume de vazios e grau de compactação dentro dos limites estabelecidos nos projetos das misturas estudadas e na especificação de serviço do DNIT para concreto asfáltico (DNIT 031-ES, 2006). A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a metodologia utilizada para moldagem e compactação das placas se mostrou satisfatória, podendo, portanto, ser empregada para produção de corpos de prova destinados ao ensaio de fadiga sob flexão em quatro pontos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Lapav, à Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A – Concepa, à Agência Nacional de Transportes Terrestre – ANTT e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ pelo apoio recebido para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2007). *AASHTO T321: Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending*. Washington, DC.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *NBR 15573: Misturas Asfálticas – Determinação da Densidade Aparente e da Massa Específica Aparente de Corpos de Prova Compactados*. Rio de Janeiro.
- Colpo, G. B. (2014). *Análise de Fadiga de Misturas Asfálticas Através do Ensaio de Flexão em Viga Quatro Pontos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). *DNIT 031: Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro.
- Di Benedetto, H.; De La Roche, C.; Baaj, H.; Pronk, A.; Lundström, R. (2004). *Fatigue of Bituminous Mixtures*. *Materials and Structures*, v. 37, p. 202-216.
- European Committee for Standardization. (2003). *EN 12697-33: Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 33: Specimen prepared by roller compactor*. Brussels.
- Fontes, L. P. T. L. (2009). *Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade do Minho, Portugal.
- Mello, L. G. R. (2008). *O Estudo do Dano em Meio Contínuo no Estudo da Fadiga em Misturas Asfálticas*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de Brasília, Brasília.

Moura, E. de. (2010). *Estudo de Deformação Permanente em Trilha de Roda de Misturas Asfálticas em Pista e em Laboratório*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de Brasília, Brasília.

Tangella, S. C. S. R.; Craus, J.; Deacon, J. A.; Monismith, C. L. (1990). *Summary Report on Fatigue Response of Asphalt Mixtures*. Prepared for Strategic Highway Research Program, Project A-003-A. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.

ABSTRACT

Fatigue is considered one of the major problems that occurs in asphalt mixes in that it results in degradation of the materials that make up the asphalt pavement and thus the pavement structure (Di Benedetto et al., 2004). The laboratory test most commonly used in Brazil to analyze the fatigue of mixtures is the indirect traction by diametrical compression in cylindrical specimens, but in recent years it has been used the bending test at four points, using specimens prismatic to characterize this phenomenon in asphalt mixtures. However, this test does not have regulation and the process of molding and compaction of the specimens just being discussed by many researchers. In this sense, the present study verified in the laboratory methodology used for molding and compaction of asphalt concrete plates, which are extracted prismatic specimens used in the bending test at four points to analyze the fatigue behavior. To realize this study we used two mixtures, one called CA-TLA comprised of modified binder polymer and by adding TLA and another called CA-E with polymer-modified binder (AMP - 60/85). The process of molding and compaction was carried out in an asphalt plant (km 30 of the BR-290 / RS). The produced plates were sawn for extracting specimens with which tests were conducted to determine volumetric parameters and degree of compaction. The results show that the method of forming and compaction employee was adequate, with voids values and degree of compaction coherent with the limits specified in the standard DNIT (DNIT-ES 031, 2006) and with the values obtained in the projects of the studied mixtures.

Keywords: Asphalt concrete, Compaction, Fatigue, Four Point Bending.