

AVALIAÇÃO MECÂNICA DE MISTURAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO CORPOS DE PROVA EXTRAÍDOS E MOLDADOS

Lucas Sasaki Vieira da Silva^a
Juceline Batista dos Santos Bastos^b
Jorge Barbosa Soares^a
Luis Alberto Herrmann do Nascimento^c

Universidade Federal do Ceará^a
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará^b
Petrobras/Cenpes^c

RESUMO

A caracterização mecânica de misturas asfálticas visa obter propriedades para compreender o comportamento do material e simular o sistema de camadas. Ainda não há consenso sobre o efeito nas propriedades quando as amostras são moldadas na dimensão de ensaio ou obtidas por extração e serragem. Este artigo tem como objetivo avaliar os efeitos em algumas propriedades mecânicas para corpos de prova (CPs) obtidos na dimensão de ensaio ou da extração de CPs maiores. A metodologia consiste em realizar ensaios de Resistência a Tração (RT), Módulo de Resiliência (MR), Uniaxial de Carga Repetida, Módulo Dinâmico ($|E^*|$) e *Stress Sweep Rutting* (SSR) para CPs moldados e também extraídos e serrados. Verificou-se ainda a distribuição do volume de vazios (Vvs) durante as etapas de extração. Para a deformação permanente, uma das misturas apresentou tendência de redução da resistência pós extração e, para os demais ensaios, resultados convergentes foram encontrados para ambas as metodologias.

ABSTRACT

Mechanical characterization of asphalt mixtures intends to obtain properties to comprehend the material behavior and help simulating the layered system. However, there is not yet a consensus of the effects on properties when samples are molded on the test dimension or cored and subsequently sawed. This paper's objective is to evaluate the effects on some mechanical properties of asphalt mixtures using laboratory test specimens of specific dimensions or cored from larger specimens. The methodology consists on performing Tension Strength (TS), Resilient Modulus (RM), Uniaxial Repetitive Loading Test, Dynamic Modulus ($|E^*|$) and Stress Sweep Rutting (SSR) for molded samples and also cored and sawed ones. The air voids content (AV) were also verified during the extraction steps. For permanent deformation, one of the mixtures' results indicates resistance reduction after coring. On the other tests performed, converging results were verified for both methodologies.

1. INTRODUÇÃO

Alguns dos grandes desafios da ciência são tentar compreender melhor as propriedades dos materiais, dos fenômenos naturais e reproduzir eventos em escalas de laboratório o mais fielmente possível para análises mais precisas. Tratando-se da pavimentação, além da necessidade de usar ensaios sofisticados que proporcionem melhor compreensão do fenômeno, da evolução do dano e das possíveis causas dos defeitos no revestimento e no pavimento como um todo, obter amostras laboratoriais para associação com parâmetros de campo torna-se fundamental. Dessa forma, um dos pontos chave para o estudo de misturas asfálticas é entender qual tipo de Corpo de Prova (CP) representará melhor os parâmetros efetivos de campo: um CP moldado nas dimensões de ensaio, um CP extraído de outra moldagem ou verificar que ambas as metodologias são de fato compatíveis.

Dentre os defeitos dos pavimentos asfálticos, dois destacam-se: deformação permanente e trincamento por fadiga. A deformação, quando ocorre no revestimento, é verificada pelo afundamento de trilhas de roda, enquanto a fadiga é verificada pelo aparecimento de fissuras na superfície do revestimento. Ambos acarretam problemas financeiros caso ocorram precocemente, além de problemas de segurança ao usuário, com a formação de lâmina d'água e eventual aparecimento de defeitos mais graves, como panelas.

Diversos fatores influenciam o desempenho da camada de revestimento asfáltico: projeto da mistura asfáltica, controle de qualidade e manutenções preventivas. Atender às especificações, como DNIT 031 (2006), é um dos meios para atender aos requisitos mínimos, ainda que não seja único e suficiente pra tal. O comportamento mecânico do revestimento está ligado aos componentes da mistura: ligante asfáltico, agregados e aditivos (quando necessários), e o projeto da mistura asfáltica deve proporcionar características como impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, à deformação permanente, à fadiga e ao trincamento térmico de acordo com clima e tráfego previstos (Bernucci *et al.*, 2010). Atender aos parâmetros de qualidade torna-se um desafio maior devido à metodologia de obter propriedades dos materiais. Apesar de já normatizado no Brasil e utilizado em diversos centros de pesquisa, o ensaio de Módulo Dinâmico - $|E^*|$ (Papazian, 1962; DNIT, 2019) não foi considerado numa primeira proposta de um novo método de dimensionamento para o país, o MeDiNa (Motta *et al.*, 2018). No Brasil, ainda é bem mais comum o Módulo de Resiliência – MR (Hveem, 1955; DNIT, 2018), embora este parâmetro não considere as propriedades viscoelásticas do material e, portanto, efeitos da frequência e da temperatura não são levados em conta (Daniel *et al.*, 1998).

Visando à melhor compreensão dos fenômenos ocorridos na camada de revestimento e no pavimento como um todo, diversos autores estudam temas como a concentração dos vazios, eficiência dos métodos de compactação, metodologias de obtenção dos CPs, efeitos de anisotropia e de extração nos resultados de ensaios (Harvey *et al.*, 1994; Chehab *et al.*, 2000; Tashman *et al.*, 2002; Robinette e Williams, 2006; Nascimento *et al.*, 2006; Thyagarajan *et al.*, 2010; Leandro *et al.*, 2017; Pape *et al.*, 2018). No entanto, percebe-se que, geralmente, os estudos costumam aprofundar-se em um tipo específico de parâmetro, não avaliando para diversos ensaios mecânicos os diferentes parâmetros como a deformação permanente e rigidez considerando como foco o efeito de extração do CP. Essa verificação torna-se pertinente visto que tanto normas norte-americanas, como a AASHTO T342, quanto trabalhos de outros centros recomendam o uso de CPs extraídos e serrados para obter amostras mais homogêneas.

Portanto, com o intuito de compreender melhor os efeitos do método utilizado em escala laboratorial, este trabalho avalia CPs de misturas asfálticas moldados na dimensão do ensaio e obtidos através de extração e serra. São apresentados ainda a variação do volume de vazios (Vvs) durante as etapas de extração e serragem do CP, além do percentual de ligante asfáltico verificado nos CPs moldados e extraídos para uma das misturas. Dessa forma, além de contribuir com a verificação dos efeitos da extração, o trabalho tenta indicar possíveis causas de variação assim como sugerir os próximos passos dentro do tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversos autores investigaram a eficiência de métodos de compactação em laboratório, variações em dimensões, geometria de CPs em ensaios mecânicos e até mesmo o efeito da extração das amostras. Porém, em geral, esses trabalhos foram isolados a temas específicos, com misturas asfálticas distintas e, por vezes, a avaliação do efeito de extração do CP não foi propriamente o foco do trabalho.

Harvey *et al.* (1994) investigaram diferentes métodos de compactação e o procedimento de extração de CPs comparando-os aos moldados. Os autores verificaram dificuldades em medir os Vvs de CPs extraídos assim como em comparar esses resultados aos demais devido ao

corte de agregados, ainda que tenha sido observada redução na resistência à deformação permanente de CPs extraídos. Citam que o molde do Compactador Giratório Superpave (CGS) pode induzir a quebra e a segregação de agregados maiores, enclausurando maiores vazios na região periférica do CP (próxima ao molde). Chehab *et al.* (2000) avaliaram diferentes geometrias e a extração de CPs caracterizando a distribuição dos Vvs e a variação entre resultados dos ensaios. Apesar de apresentar possibilidade de variação nos resultados de módulo complexo nas frequências de 10 e 20 Hz, os autores reforçam a necessidade de extrair e serrar CPs para obter amostras mais homogêneas.

Por outro lado, Tashman *et al.* (2002) caracterizaram amostras moldadas e extraídas de campo quanto aos Vvs por meio da tomografia de Raio-X, convergindo aos resultados verificados por Harvey *et al.* (1994) e Chehab *et al.* (2000) de acúmulo periférico dos Vvs em CPs moldados em laboratório. Thyagarajan *et al.* (2010), em estudo também realizado com tomografia de Raio-X, estudaram a compactação atingida por CGS de diferentes fabricantes, a heterogeneidade dos CPs moldados e extraídos, assim como a variação e distribuição dos Vvs. Os autores indicaram regiões com menor compactação e acúmulo de Vvs nas extremidades.

Especificamente para o desempenho dos CPs moldados e extraídos, Robinette e Williams (2006) verificaram a influência do histórico de carregamento em CPs moldados e extraídos para $|E^*|$ e *Flow Number (FN)*. Foi verificado aumento de 33% do *FN*, ao se comparar CPs extraídos com aqueles moldados, e uma variação não significativa para $|E^*|$.

Leandro *et al.* (2017) examinaram que a compactação do CGS em moldes de 150 mm de diâmetro é mais eficiente para densificação da mistura em relação ao Rolo Compactador Francês. Também verificaram maiores valores de MR para CPs extraídos do CGS devido à maior compactação atingida.

Lee *et al.* (2017) avaliaram a extração em diferentes geometrias e dimensões a partir de CPs com 150 mm de diâmetro para realizar $|E^*|$ e fadiga a tração-compressão. Os autores realizaram extrações de CPs prismáticos e cilíndricos variando diâmetro e altura para os últimos. Os resultados obtidos para $|E^*|$ indicam pouca variação exceto para as baixas frequências reduzidas, porém os resultados de fadiga foram mais consistentes. Ao simular utilizando o *Layered Viscoelastic Analysis for Critical Distresses (LVECD)*, esses autores concluíram que a dimensão de extração não produz desempenho significativamente diferente para fadiga.

Semelhante a Lee *et al.* (2017), Pape *et al.* (2018) avaliaram a possibilidade e o impacto da direção em extrações de múltiplos CPs cilíndricos de 38 mm de diâmetro e 110 mm de altura a partir de um mesmo CP de 150 mm de diâmetro. Os autores verificaram que para os ensaios de $|E^*|$ e fadiga a tração-compressão não há diferença significativa nos resultados em função da anisotropia e sugerem a extração de até 4 amostras verticalmente de um mesmo CP, evitando a região de borda na qual há acúmulo de Vvs.

A Tabela 1 resume as avaliações mecânicas realizadas nessas pesquisas e a influência da extração de CPs nessas avaliações.

Tabela 1: Contribuições quanto às avaliações mecânicas relacionadas à extração de CPs.

Autores	Avaliação
Harvey <i>et al.</i> (1994)	Redução na resistência à deformação permanente de CPs extraídos.
Chehab <i>et al.</i> (2000)	Variação nos resultados de módulo complexo nas frequências de 10 e 20 Hz.
Robinette e Williams (2006)	Observaram que $ E^* $ não tem variação significativa, e FN aumentou 33% em CPs extraídos.
Leandro <i>et al.</i> (2017)	Verificaram maiores valores de MR para CPs extraídos do CGS.
Lee <i>et al.</i> (2017)	Indicaram pouca variação do $ E^* $, exceto para as baixas frequências reduzidas, e variação insignificante de previsão de desempenho quanto à fadiga.
Pape <i>et al.</i> (2018)	Verificaram que para os ensaios de $ E^* $ e fadiga a tração-compressão não há diferença significativa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste trabalho, foi definido o programa experimental e a metodologia de extração de CPs utilizados. Todos os CPs foram compactados utilizando o compactador giratório Superpave em moldes com diâmetros de 100 mm e 150 mm, sendo divididos em três grupos: (i) moldados na dimensão de 63,5 mm de altura e 100 mm de diâmetro para os ensaios de MR e RT; (ii) moldados na dimensão de 150 mm de altura e 100 mm de diâmetro para os ensaios uniaxial de carga repetida, SSR e $|E^*|$; e (iii) moldados na dimensão de 180 mm de altura e 150 mm de diâmetro com o objetivo de extrair e serrar, topo, base e faixa central. A Figura 1 ilustra o processo de moldagem e extração de CP.

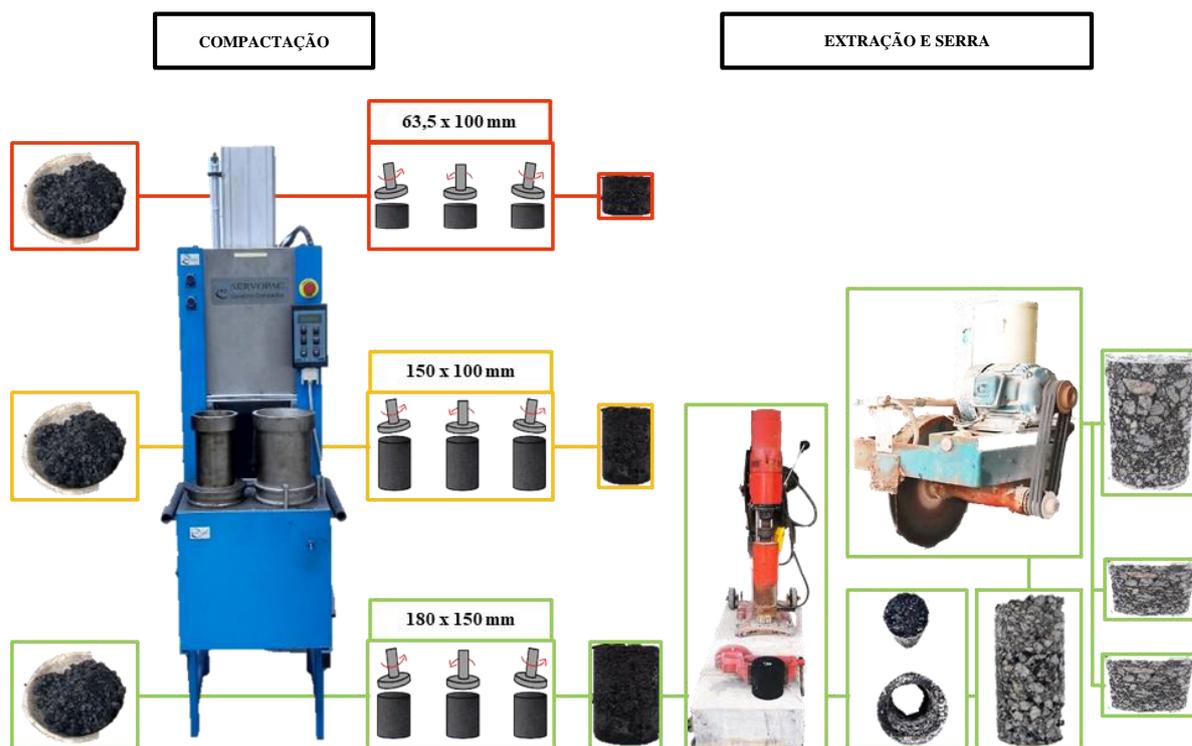


Figura 1: Metodologia ilustrada para obtenção dos CPs.

Além da preocupação quanto ao V_v do CP, durante as etapas de extração, e subsequente serragem de topo, base e faixa central dos CPs extraídos, foram medidos os V_v s das regiões de topo, base, núcleo, núcleo extraído e periferia remanescente do CP de modo a verificar a consistência do acúmulo de V_v s, conforme as regiões apresentadas na Figura 2.

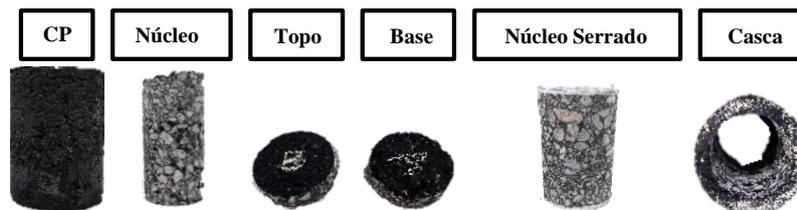


Figura 2: Regiões investigadas para verificação de Vvs.

Quanto ao estudo das propriedades mecânicas, os ensaios realizados e as respectivas normas, quando disponíveis, são indicados a seguir:

- Resistência à tração por compressão diametral (RT) - DNIT 136, 2018 – ME.
- Módulo de resiliência (MR) - DNIT 135, 2018 – ME.
- Módulo dinâmico ($|E^*|$) - DNIT 416, 2019 – ME e AASHTO T342, 2011.
- Ensaio uniaxial de carga repetida (*Flow Number, FN*) - DNIT 184, 2018 – ME.
- *Stress Sweep Rutting (SSR)* – AASHTO TP 134-19.

Foram realizadas alterações para o SSR nas tensões de confinamento conforme Bastos *et al.* (2016), adequando o ensaio à realidade das espessuras de camadas de revestimento brasileiras. Dessa forma, a Tabela 2 resume o protocolo seguido para o ensaio, explicitando as tensões usadas.

Tabela 2: Resumo de parâmetros do SSR.

Temperatura (°C)	47 (T _H)	17 (T _L)
Pulso de carga (s)	0,4	0,4
Descanso (s)	3,6	1,6
Confinamento (kPa)	138	138
Carregamento (kPa)	620 – 414 – 827	414 – 620 – 827
Ciclos	200 – 200 – 200	200 – 200 – 200

Fonte: adaptado de Kim *et al.* (2017) e Bastos *et al.* (2016).

Os ensaios para determinação de RT, MR e $|E^*|$ foram realizados considerando CPs moldados ou extraídos com Vvs de 4,0%, enquanto os ensaios de deformação permanente, uniaxial e SSR foram realizados com CPs apresentando Vvs de 5,5%. Além disso, foram obtidos dois CPs extraídos para MR e RT a partir de um CP original de 180 mm de altura e 150 mm de diâmetro (representado na Tabela 3 como 1:2, sendo que de um CP moldado foram extraídos e serrados 2 CPs), já os CPs dos demais ensaios foram obtidos na proporção de 1:1. A Tabela 3 resume todas as características físicas, regiões serradas para descarte e quantidade de CPs obtida comparando moldagem ou extração e serra para obtenção nas diferentes dimensões.

Tabela 3: Características físicas e ensaios para cada método de moldagem.

Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Extração	Região serrada	Ensaio	CPs	Vvs
63,5	100	Não	-	MR/RT	1:1	4,0
150	100	Não	-	<i>FN/SSR/ E* </i>	1:1	5,5/4,0
180	150	Sim	Topo e base	<i>FN/SSR/ E* </i>	1:1	5,5/4,0
180	150	Sim	Topo, base e centro	MR/RT	1:2	4,0

Neste artigo, foram avaliadas duas misturas asfálticas (M1 e M2) para os ensaios uniaxial de carga repetida e SSR. Para os demais ensaios, apenas M2 foi investigada. A Tabela 4 apresenta a caracterização das misturas, enquanto a Figura 4 mostra as curvas granulométricas

de M1 e M2. Apesar de não haver a pretensão de comparar essas misturas, ressalta-se a diferença de suas curvas granulométricas obtidas por extração do ligante, uma vez que M1 apresenta predominância de materiais graúdos, portanto, mais suscetível ao corte durante a extração do CP, se comparado à M2 que, por sua vez, conta com a incorporação de 10% fresado e curva um pouco fora da Faixa C do DNIT, ainda que seja o parâmetro de controle para ambas misturas utilizadas.

Tabela 4: Caracterização de M1 e M2.

Característica	M1	M2
Ligante classificado por Penetração	50/70	50/70
Teor de ligante (%)	5,2	5,3
Temperatura de Compactação (°C)	$144 \leq T \leq 149$	$139 \leq T \leq 144$
Gmm	2,460	2,442

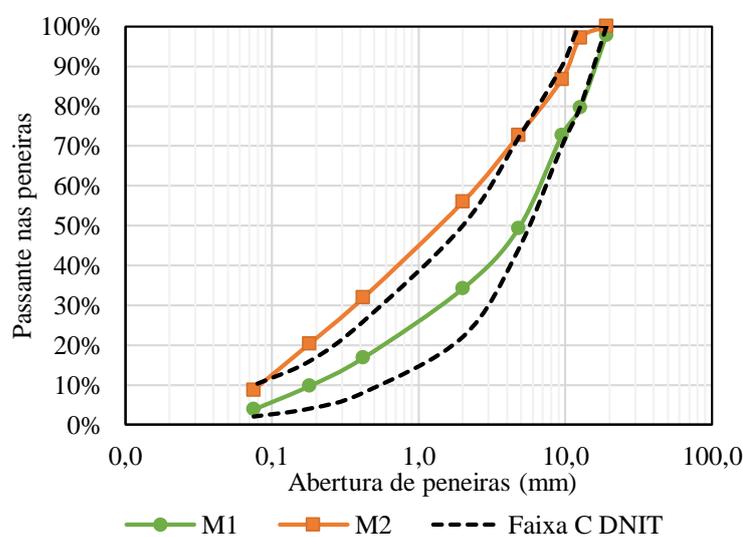


Figura 3: Curvas granulométricas de M1 e M2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do ensaio uniaxial de carga repetida são apresentados na Figura 4 (a) e (b), usando o modelo de Francken, conforme DNIT 184 (2018). A Figura 4 (a) apresenta os resultados das evoluções da deformação ao longo dos ciclos para M1, (b) para M2 e (c) o comparativo de *FNs* obtidos de CPs moldados na dimensão do ensaio *versus* os CPs extraídos; a notação utilizada separa as amostras extraídas pelo acréscimo de “C”.

Percebe-se diferença no comportamento de M1 ao comparar os CPs moldados aos extraídos. Verificou-se, para M1, a redução de 40% ao realizar o ensaio com CPs extraídos, considerando 2 amostras para cada método; os CPs moldados contaram com *Vvs* médios de 5,07% e os CPs extraídos com 5,56%. Esse resultado foi contrário ao verificado por Robinette e Williams (2006), que relataram aumento desse parâmetro na avaliação de 8 amostras para cada método. Por outro lado, M2 apresentou 2% de aumento, valor desprezível considerando que há variabilidade entre CPs obtidos pelo mesmo método; quanto aos *Vvs*, os CPs moldados de M2 apresentaram *Vvs* médios de 5,39% enquanto os CPs extraídos 5,58%.

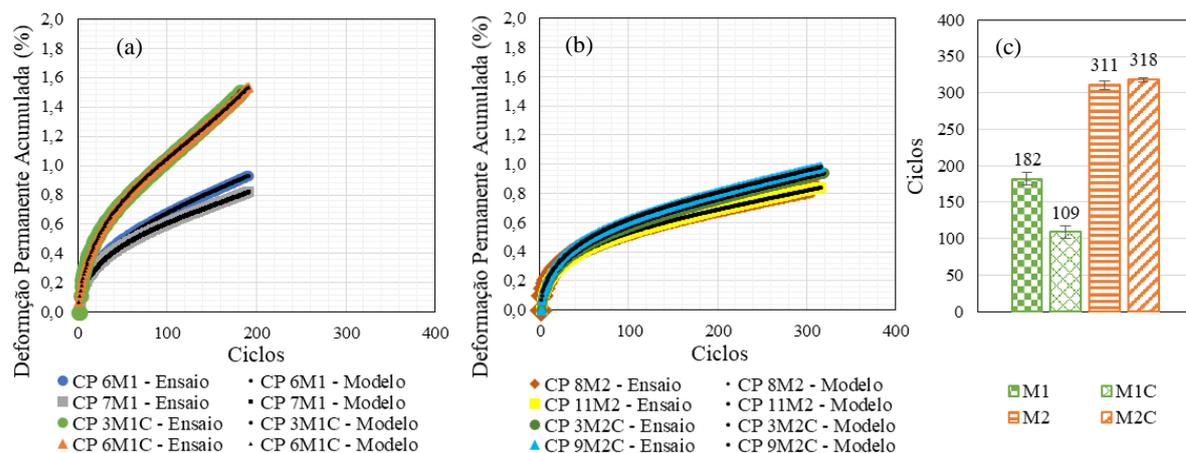


Figura 4: Acúmulo de deformação permanente em a) M1 e b) M2; c) *Flow Number* médio.

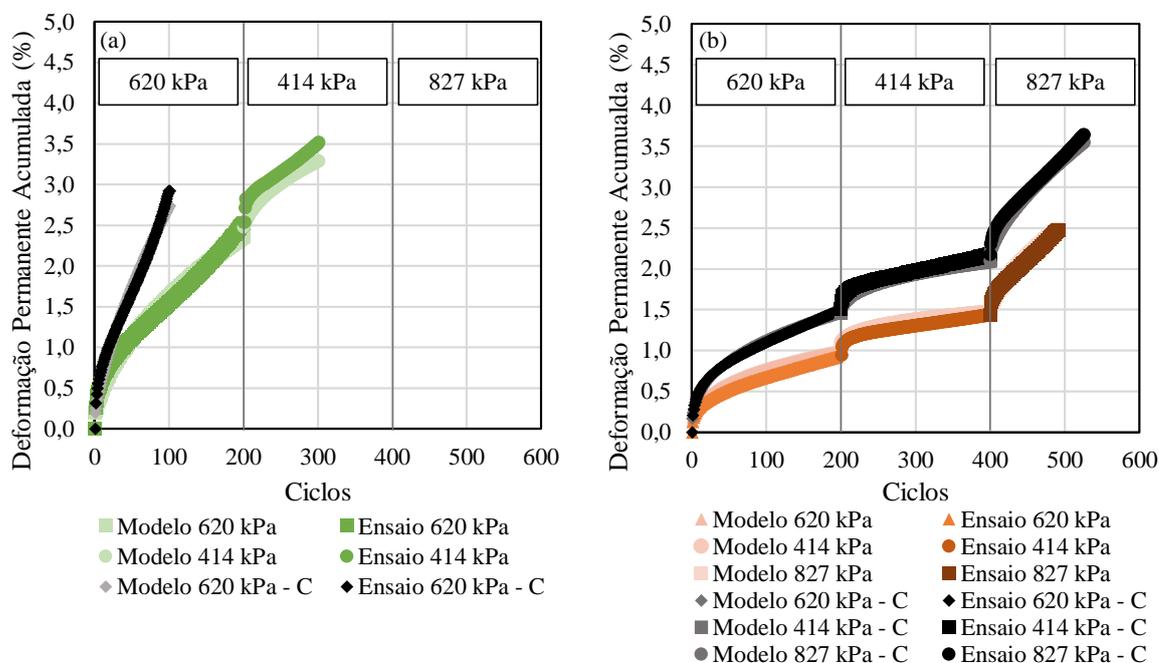


Figura 5: SSR médio para M1 a) moldados e extraídos, M2 b) moldados e extraídos.

Quanto ao ensaio de SSR, a Figura 5 (a) mostra os resultados médios dos CPs moldados e extraídos de M1 que, além de não atenderem aos três estágios do protocolo (600 ciclos), apresentaram ainda menor resistência à deformação permanente para os CPs extraídos e serrados, que não chegaram ao segundo bloco de carregamento. Os Vvs médios verificados para os CPs de M1 moldados foram de 5,40% e dos CPs extraídos foram 5,67%. A mistura M2 também não suportou os 600 ciclos de carregamento necessários na temperatura alta do ensaio SSR como verificado na Figura 5 (b), portanto não houve a realização do SSR na temperatura baixa para M1 ou M2. Além disso, de maneira semelhante à M1, M2 apresentou menor resistência à deformação permanente para os CPs extraídos e serrados. Quanto aos Vvs verificados, os CPs moldados contaram com 5,41% e os CPs extraídos com 5,22%. Novamente, na Figura 5, os resultados de CPs extraídos são demarcados pela terminação “C”

na legenda.

Os resultados obtidos para ambos *FN* e *SSR* corroboram o que aponta a literatura através da Tomografia quanto à distribuição dos Vvs dentro dos CPs. Essa diferença, proporciona nos CPs extraídos maior homogeneidade de distribuição dos Vvs, porém pode induzir a diferentes distribuições de tensões e de cisalhamento que associam-se aos fluxos plásticos determinantes nos resultados de ambos os ensaios utilizados para avaliação da deformação permanente, *FN* e *SSR*. A Figura 6, cedida pela Petrobras/CENPES, apresenta imagens de Tomografia nas quais é possível observar a tendência de densificação do CP a partir dos pontos de contato durante a compactação além da distribuição de Vvs.

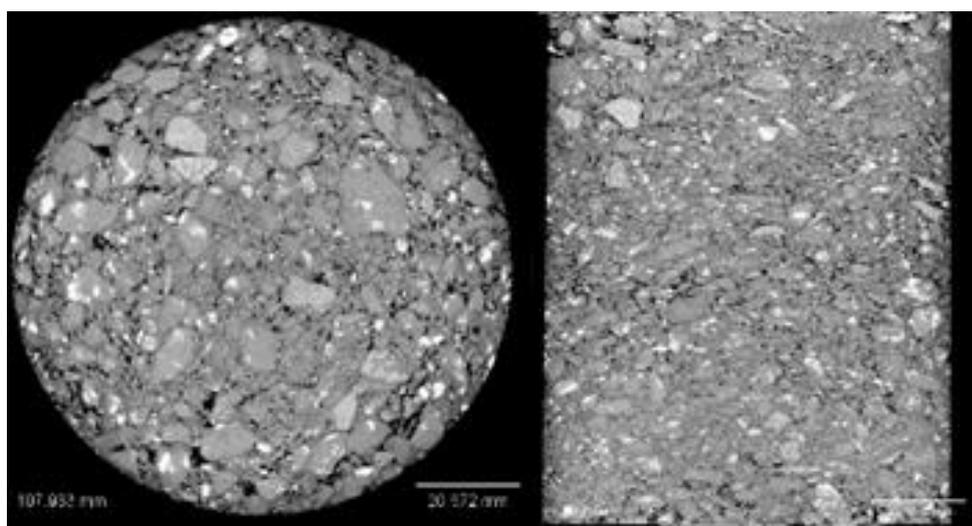


Figura 6: Tomografia de CPs horizontal e vertical. **Fonte:** Petrobras/CENPES.

Além da deformação permanente, M2 foi avaliada quanto à resistência à tração e aos módulos de resiliência e dinâmico. A Tabela 5 exibe os resultados médios de MR e RT considerando 2 amostras para cada método de obtenção do CP. Já a Figura 6 apresenta a curva mestra resultante do ensaio de $|E^*|$ e os *shift factors* (a_T) utilizados para a construção dessa curva.

Tabela 5: MR e RT médios – mistura M2

CP	RT (MPa)	MR (MPa)
Moldados	1,76	4.483
Extraídos	1,84	4.451

Pelos valores verificados de MR e RT pra M2, avaliando CPs extraídos ou moldados, adotando as mesmas características volumétricas, não há diferença significativa nesses resultados, mostrando que ambas as metodologias de obtenção do CP são válidas para os ensaios. Pelos resultados, além do comportamento próximo de amostras moldadas e extraídas, uma amostra extraída de campo não deverá apresentar variação pela hipótese do corte de agregados em relação a um CP moldado em laboratório. Pelo menos não quando se considera as mesmas condições de envelhecimento e volumétricas para efeitos de uniformidade da avaliação, como realizado para os CPs avaliados.

De maneira semelhante, as curvas mestras do $|E^*|$ obtidas utilizando CPs moldados e extraídos não apresentaram variação significativa (Figura 7), com reduzidas divergências nas

baixas e altas frequências reduzidas. Desta forma, por tratar-se de uma propriedade do material, a condição de obtenção do CP não indicou resultados diferentes. Isso corrobora os resultados das análises realizadas por Lee *et al.* (2017) em amostras extraídas com diferentes geometrias e Pape *et al.* (2018) em análises quanto à anisotropia.

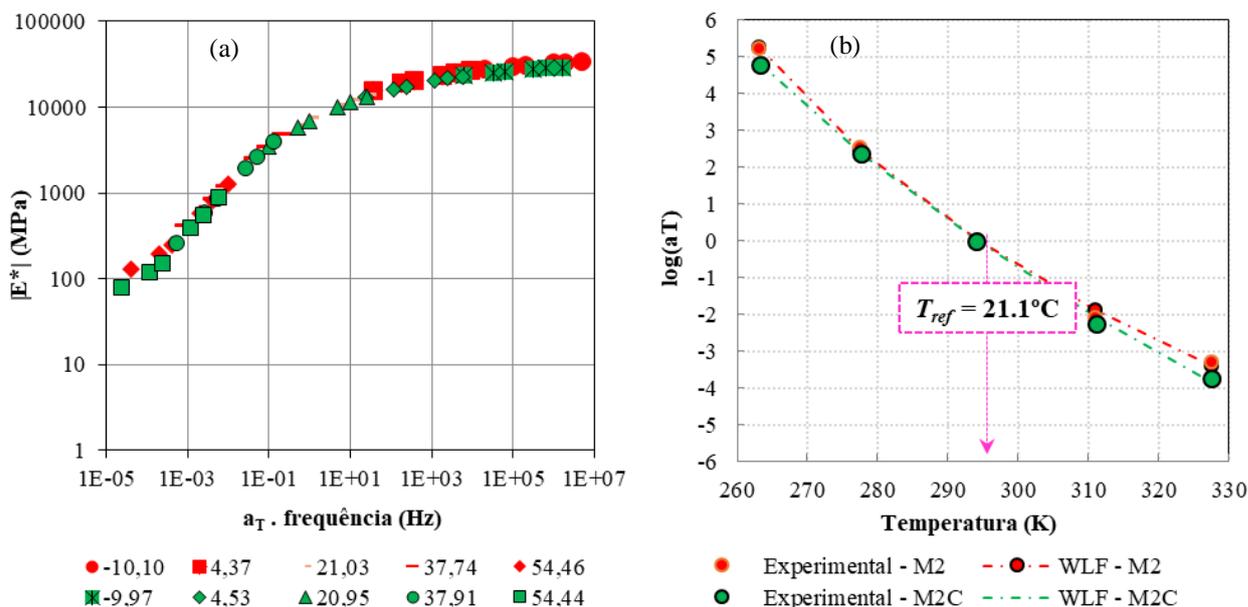


Figura 7: a) Curva Mestra e b) Shift Factors do $|E^*|$ para M2.

A Figura 8 (a) apresenta a redução sistemática dos vazios presentes no CP ao comparar ao CP base, núcleo e núcleo serrado (amostra pronta para o ensaio). Essa comparação foi feita de forma adicional à análise das misturas como controle do método adotado. São apresentados valores inclusive dos CPs com Vvs fora dos limites esperados, por ser um parâmetro qualitativo para o método. Desta forma, M2 apresenta maiores desvios, devido aos Vvs diferentes adotados para os diferentes ensaios. Também é apresentado o valor médio e desvio obtido para os CPs moldados já na dimensão dos ensaios. Percebe-se que os CPs extraídos contam com Vvs médios bastante próximos dos CPs moldados utilizados.

Além dos Vvs, foi verificada a variação do teor de ligante entre os CPs moldados e extraídos para M1, comparando 2 amostras para CPs extraídos e 2 para CPs moldados. A Figura 8 (b) apresenta os valores obtidos que indicam variação além do limite de $\pm 0,3\%$ permitido (DNIT 031, 2006). Desta forma, torna-se necessário verificar se a tendência de segregação dos agregados graúdos, mencionada por Harvey *et al.* (1994), pode impactar variações no teor de ligante não só em amostras laboratoriais, como também em campo. Tal variação, caso repita-se para amostras extraídas de campo, pode dificultar a avaliação de obras concluídas, podendo prejudicar a empresa contratada com penalizações quanto ao serviço prestado.

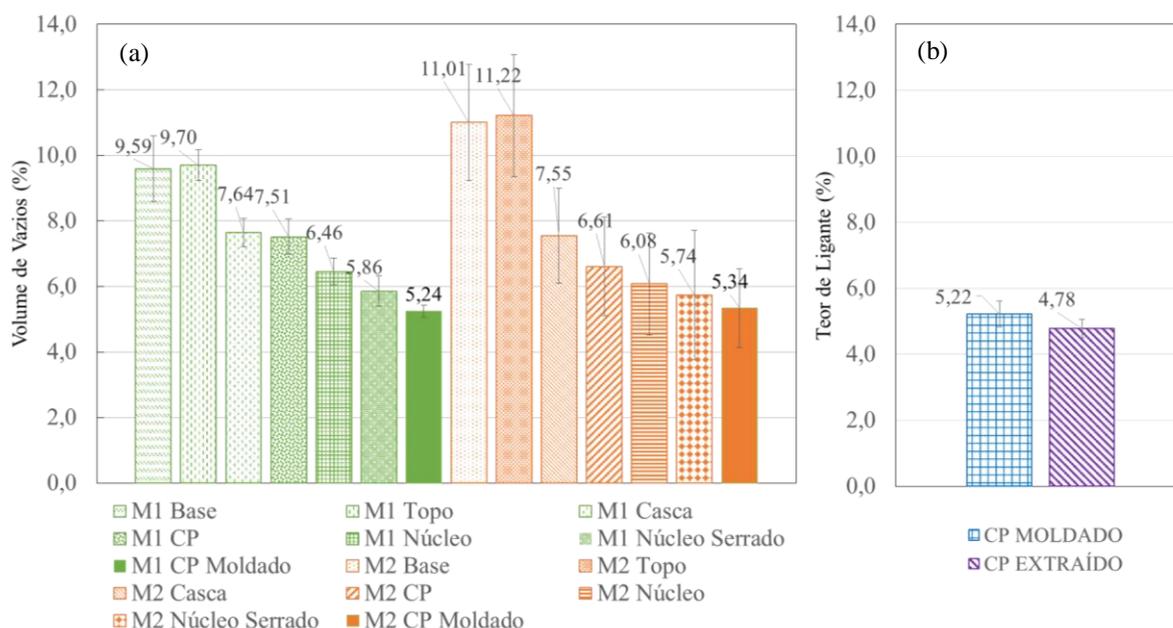


Figura 8: a) Redução dos Vvs após extração de CPs; b) Variação do teor de CAP de M1.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, duas misturas foram avaliadas por meio de ensaios de deformação permanente (uniaxial e triaxial), comparando CPs moldados e extraídos. Verificou-se que M1, mistura com predominância de agregados graúdos, apresentou diferenças maiores entre os resultados de CPs moldados e extraídos, indicando presença prematura de dano devido à extração e mudança nas características da mistura como o teor de ligante e a granulometria. Isso ocorre devido ao corte de agregados e a distribuição de vazios dentro do CP que mostra-se mais relevante para os ensaios para deformação permanente. Por outro lado, essa tendência não foi verificada integralmente para M2, mistura com mais agregados miúdos, apresentando diferença relevante apenas em um dos ensaios avaliados (triaxial).

Quanto aos resultados de MR, RT e $|E^*|$, verificou-se comportamento bastante próximo, semelhante ao retratado na literatura quanto à baixa variação entre as metodologias de obtenção dos CPs, sendo a diferença compreendida na margem de variabilidade entre CPs que já existe inerente aos constituintes das misturas asfálticas. Vale ressaltar que esses resultados foram obtidos para a mistura M2, que conta com curva granulométrica predominante de materiais finos, enquanto M1 apresenta agregados mais graúdos.

Este fator tende a reforçar a hipótese de o corte de agregados durante o procedimento de extração e serragem impactar no comportamento de misturas com predominância de agregados graúdos além de sugerir que o uso de ambos os CPs moldados e extraídos apresentam vantagens e desvantagens. Nesse sentido, destacam-se o tempo decorrido para obter as amostras e diferenças na distribuição dos Vvs alcançada na amostra ensaiada assim como a possibilidade do núcleo extraído e serrado aproximar-se da distribuição de vazios verificada em campo.

A concentração de Vv na região periférica do CP, de forma a configurar um CP extraído e serrado mais homogêneo quanto à distribuição de materiais e vazios do que um CP moldado,

foi verificada para os materiais estudados. Isso fortalece a consistência da metodologia utilizada para obter CPs extraídos, conforme aponta a literatura. Além disso, observou-se a redução de cerca de 1,5% dos Vvs do CP original para o núcleo extraído e serrado. Os CPs extraídos de M1 apresentaram teores de ligante fora do limite estabelecido por norma quando comparado ao valor de projeto. Dessa forma, a variação entre CPs moldados e extraídos pode representar o que ocorre ao comparar as especificações de projeto ao controle de qualidade de extrações realizadas em campo. No entanto, não é possível afirmar que este seja fator um determinante para o comportamento obtido para as misturas avaliadas, visto que este fator foi verificado apenas para 2 CPs moldados e 2 CPs extraídos de uma mistura.

Assim, verificar a ocorrência do fenômeno para outras misturas de diferentes curvas granulométricas torna-se fundamental. Além disso, têm-se como sugestões para trabalhos futuros o acompanhamento da evolução dos defeitos em campo e a comparação entre esses resultados e os obtidos em laboratório.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica do primeiro autor e de produtividade em pesquisa do terceiro autor, à Funcap pela bolsa de inovação tecnológica da segunda autora, à Insttate Engenharia pela mistura asfáltica cedida e à Rede de Tecnologia em Asfalto – Petrobras pelo apoio ao grupo de pesquisa da Universidade Federal do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2011). T 342: *Determining Dynamic Modulus of HotMix Asphalt (HMA)*. Washington.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2019). TP 134: *Provisional Standard Method of Test for Stress Sweep Rutting (SSR) Test Using Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)*. Washington.
- Bastos, J. B. S.; Torquato e Silva, S. A.; Soares, J. B.; Nascimento, L. A. H.; Kim, Y. R. (2016). *Triaxial stress sweep test protocol considerations for permanent deformation characterization of asphalt mixtures*. *Road Materials and Pavement Design*. v. 19, n. 2, p.431-444. DOI: 10.1080/14680629.2016.1261729.
- Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 2010. PETROBRAS. ABEDA.
- Chehab, G. R.; O'Quinn, E.; Kim, Y. R. (2000). *Specimen geometry study for direct tension test based on mechanical tests and air void variation in asphalt concrete specimens compacted by Superpave gyratory compactor*. *Transportation Research Record*. 1723. 125-132. DOI: 10.3141/1723-16.
- Daniel, J., Kim, Y.; Lee, H. J. (1998). *Effects of Aging on Viscoelastic Properties of Asphalt-Aggregate Mixtures*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1630, 21–27. DOI: 10.3141/1630-03.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. NORMA DNIT 031/2006 – ES (2006). *Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. NORMA DNIT 135/2018 – ME (2018). *Pavimentação - Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. NORMA DNIT 136/2018 – ME (2018). *Pavimentação - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. NORMA DNIT 184/2018 – ME (2018). *Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. NORMA DNIT 416/2019 – ME (2019). *Pavimentação - Misturas asfálticas – Determinação do Módulo Dinâmico – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Hveem, F.N. *Pavement Deflections and Fatigue Failures*. (1955). *Highway Research Board Bulletin*, n. 114.
- Kim, D.; Kim, Y. R. (2017). *Development of Stress Sweep Rutting (SSR) test for permanent deformation characterization of asphalt mixture*. (2017). *Construction and Building Materials*. 154. 373-383. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.172.
- Leandro, R. P.; Vasconcelos, K. L.; Bernucci, L. L. B. *Evaluation of the laboratory compaction method on the*

- air voids and the mechanical behavior of hot mix asphalt.* (2017). *Construction and Building Materials*. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.178.
- Lee, K.; Pape, S.; Castorena, C.; Kim, Y.R. (2017). *Evaluation of Small Specimen Geometries for Asphalt Mixture Performance Testing and Pavement Performance Prediction. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* 2631. 74-82. DOI: 10.3141/2631-09.
- Motta, L. M. G.; Leite, L. F. M.; Franco, F. A. C. P.; Silva, C. F. S. C.; Medina, J. (2018). Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método mecanístico - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos. Convênio UFRJ/DNIT.
- Nascimento, L.; Leite, L.; Campos, E.F.; Marques, G.; Motta, L. (2006) Uso da tomografia computadorizada e de imagens digitais para o estudo de misturas asfálticas. Anais do 18º Encontro do IBP, Rio de Janeiro/RJ: IBP.
- Papazian, H.S. (1962). *The response of linear viscoelastic materials in the frequency domain with emphasis on asphalt concrete. Proceedings of international conference on the structural design of asphalt pavements, Ann Arbor, Michigan, 453-464.*
- Pape, S.; Lee, K.; Castorena, C.; Kim, Y.R. (2018). *Optimization of the Laboratory Fabrication of Small Specimens for Asphalt Mixture Performance Testing. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* DOI: 10.1177/0361198118790845.
- Robinette, C.; Williams, R. C. (2006). *The Effects of the Testing History and Preparation Method on the Superpave Simple Performance Test. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists.* 75. 297-320.
- Tashman, L.; Masad, E.; D'Angelo, J.; Bukowski, J.; Harman, T. (2002). *X-ray Tomography to Characterize Air Void Distribution in Superpave Gyrotory Compacted Specimens. International Journal of Pavement Engineering.* 3. 19-28. DOI: 10.1080/10298430290029902a.
- Thyagarajan, S.; Tashman, L.; Masad, E.; Bayomy, F. (2010). *The heterogeneity and mechanical response of hot mix asphalt laboratory specimens. International Journal of Pavement Engineering,* 11:2, 107-121. DOI: 10.1080/10298430902730521.

Lucas Sasaki Vieira da Silva (lucassvs2@alu.ufc.br)

Juceline Batista dos Santos Bastos (jucelinebatista@hotmail.com)

Jorge Barbosa Soares (jsoares@det.ufc.br)

Luis Alberto Herrmann do Nascimento (luisnascimento@petrobras.com.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará
Bloco 703 – Fortaleza, CE, Brasil