

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE LIGANTE ASFÁLTICO, DA FAIXA GRANULOMÉTRICA E DA MESORREGIÃO PARANAENSE DE ORIGEM DO AGREGADO NO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS À DEFORMAÇÃO PERMANENTE

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Douglas Antônio Thiel¹; Allan Monteiro Silva¹; Ana Carolina Ostrovski¹.

RESUMO

Os carregamentos cíclicos nos pavimentos geram defeitos variados, com destaque para o afundamento de trilha de roda. Este defeito é proveniente do acúmulo de deformações que podem ocorrer tanto na camada de revestimento quanto nas camadas subjacentes ao revestimento. Em relação ao revestimento, uma série de estudos têm sido realizados para analisar a influência do ligante e das propriedades dos agregados no desempenho da mistura frente à deformação permanente. Pesquisas têm revelado que as características mecânicas e reológicas dos ligantes, a faixa granulométrica, origem e resistência dos agregados contribuem para o comportamento à deformação permanente de misturas asfálticas. Com base nisso, o presente artigo tem por objetivo analisar a influência do tipo do ligante, da mesorregião de origem e da faixa granulométrica no comportamento de misturas asfálticas frente à deformação permanente. Realizou-se análise, por meio do método Hamburgo, em 135 misturas asfálticas diferentes. Foram utilizados dois ligantes, um convencional (CAP 50/70) e outro modificado por polímero SBS (AMP 55/75-E). As misturas foram produzidas com agregados proveniente das dez mesorregiões do estado do Paraná, usando-se as faixas C, D e E do DER-PR e faixa C do DNIT. Observou-se que as misturas produzidas com ligante AMP 55/75-E apresentaram melhores resultados que aquelas produzidas com CAP 50/70, independente da origem dos agregados ou faixa granulométrica adotada. Todavia, verificou-se que a mesorregião de origem e a faixa granulométrica dos agregados não apresentaram, em análise estatística, influência sobre o desempenho das misturas ao dano por deformação permanente.

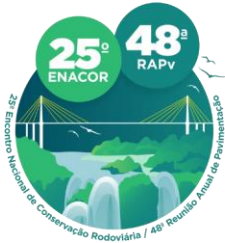
PALAVRAS-CHAVE: deformação permanente; ligantes modificados; agregados de mistura asfáltica.

ABSTRACT

The cyclic loads on pavements derived from varied defects, with emphasis on wheel track rutting. This defect comes from the accumulation of deformations that can occur in surface layer as well in subsurface layers. Regarding the asphalt mixture layer, studies have been carried out to analyze the influence of the binder and the properties of the aggregates on the performance of the mixture to permanent deformation. Research has revealed that binders mechanical and rheological characteristics, the granulometric band, origin and resistance of the aggregates influences permanent deformation behavior of asphalt mixtures. Based on this, this article aims to analyze the influence of binder type, the mesoregion of origin and the granulometric band on the performance of asphalt mixtures to permanent deformation. Analysis was performed using the Hamburg method on 135 different asphalt mixtures. Two binders were used, one conventional (CAP 50/70) and one modified by SBS copolymer (AMP 55/75-E). The mixtures were produced with aggregates from the ten mesoregions of the state of Paraná, using band C, D and E of DER-PR and band C of DNIT. It was noticed that the mixtures produced with AMP 55/75-E binder showed better results than those produced with CAP 50/70, regardless of the origin of the aggregates or the granulometric range adopted. However, it was assumed that the mesoregion of origin and the granulometric band of the aggregates did not demonstrate, in statistical analysis, influence on the performance of the mixtures to damage by permanent deformation.

KEY WORDS: permanente deformation; modified binders; asphalt mixture aggregates.

¹ E-VIAS Tecnologia em Infraestrutura Viária Ltda., douglas.thiel@e-vias.com.br; allan@e-vias.com.br; ana.ostrovski@e-vias.com.br.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 90% de todo o transporte de passageiros e 65% do transporte de cargas ocorre pelo modal rodoviário. O transporte rodoviário corresponde de forma indireta à 29% do PIB brasileiro. O modal rodoviário utiliza como infraestrutura o pavimento, definido como um sistema de camadas constituídas por materiais diversos que devem resistir aos esforços provocados pelo deslocamento de veículos. Bernucci *et al.* (2022) definem o pavimento como uma estrutura de camadas composta por materiais distintos assente sob o solo (subleito), cujo revestimento é flexível ou rígido, especialmente concreto asfáltico usinado à quente (CAUQ) e concreto armado, respectivamente. Estima-se que 99% das rodovias brasileiras pavimentadas são executadas com revestimento de CAUQ.

Entretanto, os pavimentos de CAUQ frequentemente apresentam defeitos. A última pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes aponta que 62,5% das rodovias do estado do Paraná apresentam defeitos no revestimento. Estes defeitos categorizam as rodovias paranaenses, quanto ao estado de conservação do pavimento, em regular, ruim e péssimo (CNT, 2022). Com o objetivo de reduzir a comum incidência de defeitos em revestimentos asfálticos, várias pesquisas vêm sendo conduzidas para reduzir os danos causados pelos carregamentos dos veículos no pavimento.

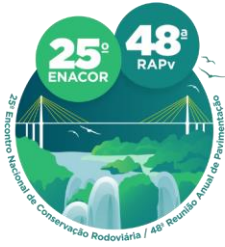
O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) criou, por meio da norma DNIT 005/2003 – TER (DNIT, 2003) a definição de defeitos que podem ser encontrados em revestimentos asfálticos. Os setores público e privado têm buscado modificações de ligantes e variações no esqueleto mineral da mistura para diminuir danos por fadiga manifestados em trincamentos diversos e o afundamento de trilha de roda (ATR), proveniente de danos por deformação permanente.

Atualmente, existem diversos modelos de ensaio para análise da deformação permanente de misturas asfálticas. Nestes ensaios, são medidas deformações plásticas totais em misturas asfálticas por meio da aplicação de cargas repetidas. A partir dos resultados destes ensaios é possível estimar a progressão do ATR durante a vida de serviço do pavimento. Um dos ensaios mais utilizados internacionalmente para este fim é o Deformação Permanente – Método Hamburgo, descrito na AASHTO T-324. Este método já é adotado como parâmetro para dimensionamento de pavimentos em métodos mecanístico-empíricos (BARROS *et al.*, 2019). Os métodos mecanístico-empíricos de dimensionamento de pavimentos buscam utilizar resultados de ensaios de deformação permanente e de fadiga para a previsão de danos já na fase de projeto.

Outrossim, com base nas informações obtidas do banco de dados da empresa E-vias Tecnologia em Infraestrutura Viária Ltda., a presente pesquisa tem por objetivo analisar se há influência do tipo do ligante, da mesorregião geográfica de origem dos agregados provenientes do Estado do Paraná e da faixa granulométrica no desempenho das misturas asfálticas frente ao dano por deformação permanente.

REFERENCIAL TEÓRICO

Dentre os mais variados tipos de defeitos que podem acometer pavimentos de revestimento asfáltico, um dos mais frequentes é a deformação permanente (DP). A deformação permanente é resultado do acúmulo de pequenas deformações não-recuperáveis em função da passagem cíclica de veículos. Na prática, a deformação permanente se manifesta em forma de depressões longitudinais no pavimento, os ATRs. Muito embora notada nos pavimentos em geral, esse defeito



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



é encontrado de forma mais proeminente nas faixas de tráfego intenso e pesado, onde as velocidades são reduzidas. Além disso, sua severidade é agravada pela exposição eventual à temperatura elevada (NASCIMENTO, 2008; MOURA, 2010; BARROS, 2017).

Quanto à sua origem, a deformação permanente pode ocorrer em função de deficiências de resistência em qualquer uma das camadas do pavimento. Todavia, quando as camadas subjacentes estão adequadamente dimensionadas e executadas, o ATR é restrito ao revestimento. Autores têm relatado que a deformação permanente no revestimento ocorre em virtude da densificação da mistura, insuficiência de rigidez do ligante, dosagem inadequada, ruptura por cisalhamento da mistura ou pela faixa granulométrica inapropriada do agregado (BAHIA *et al.*, 2001; MOURA, 2010; BARROS, 2017).

Na mistura asfáltica, o cimento asfáltico de petróleo (CAP) promove o comportamento viscoelástico. O ligante tende a se comportar como sólido quando submetido aos carregamentos rápidos e exposto a temperaturas mais amenas. Porém, em função da elevação da temperatura e/ou do aumento da carga e do tempo de carregamento, o ligante comporta-se mais como fluido viscoso, gerando deformações (SPECHT *et al.*, 2017; BOEIRA, 2018). A incorporação de agentes modificantes é uma alternativa para se reduzir o efeito da temperatura e do carregamento no CAP.

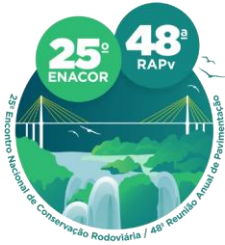
Bernucci *et al.* (2022) citam que a utilização de aditivos poliméricos apresenta melhora no desempenho de misturas frente à fadiga e deformação permanente. O polímero SBS é composto por cadeia molecular de polibutadieno (que confere propriedades elásticas) e poliestireno (que confere rigidez). Ambas estas cadeias estão agrupadas, e sua conformação depende da temperatura. Quando ocorre um aumento da temperatura, esta cadeia se desfaz, tornando o material termoplástico. Kök e Çolak (2011), Marcon (2016) e Oliveira *et al.* (2020) verificaram que a incorporação de polímero SBS em ligante asfáltico promove aumento da resposta elástica e da rigidez do ligante. Por consequência, há redução da deformação permanente nas misturas asfálticas com a utilização de ligante modificado por SBS.

Além do ligante asfáltico, a deformação permanente pode ocorrer pela insuficiência de resistência do esqueleto mineral da mistura, ou seja, pelos agregados. Busang e Maina (2021) puderam verificar em seu estudo que a utilização de agregados de origem granítica propiciou maior valor de estabilidade Marshall em relação ao agregado de origem calcária. Sendo o cisalhamento e o intertravamento entre as partículas fatores contribuintes para o surgimento de ATR, sugerem os autores que este aumento na estabilidade Marshall pode indicar maior resistência à deformação permanente.

Quanto ao procedimento de ensaio, existe uma série de protocolos normatizados que visam determinar a deformação permanente de misturas asfálticas. Descrito na norma T 324 (AASHTO, 2017), o *Hamburg Wheel-Track Device* – HWTD está entre os modelos de simuladores de tráfego mais utilizados em âmbito internacional para este fim. Nesse ensaio, amostras moldadas em laboratório são submetidas à 20.000 ciclos de carregamento por roda metálica de 705 N. O ensaio é realizado com corpos de prova submersos em água à 50 ± 1 °C.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com base nos registros do banco de dados dos projetos da Empresa E-VIAS Tecnologia em Infraestrutura Viária Ltda., procedeu-se, primeiramente, a uma compilação dos resultados obtidos nos ensaios de deformação permanente realizados entre os anos de 2019 e 2023. Esses resultados foram categorizados de acordo com os seguintes critérios: (a) tipo de ligante, (b) faixa granulométrica e (c) localização da mesorregião do estado do Paraná da qual foram provenientes os



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



agregados utilizados nas respectivas misturas. A Figura 1 apresenta a quantidade de misturas asfálticas produzidas com agregados provenientes de cada uma das regiões e que foram posteriormente ensaiadas à deformação permanente. Nota-se que a maioria dos agregados é proveniente das regiões norte central, norte pioneiro e noroeste paranaense.

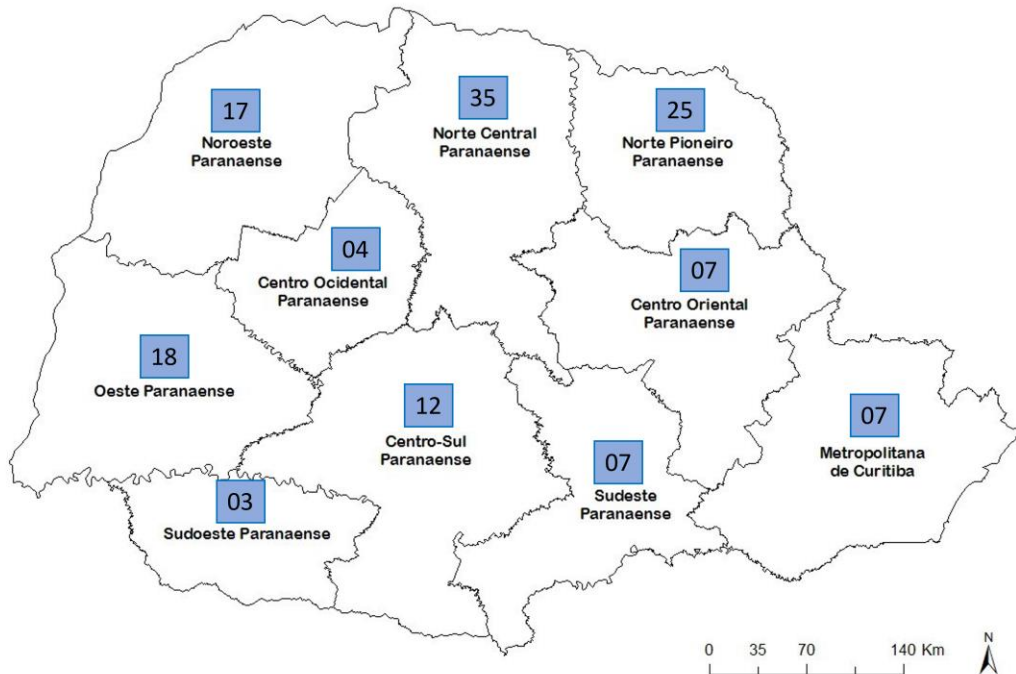
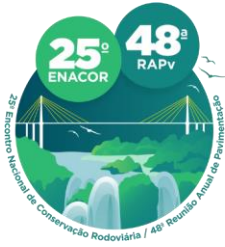


Figura 1. Identificação da região de origem dos agregados e número de amostras submetidas ao ensaio para determinação da deformação permanente.

As amostras de agregados foram transportadas ao Laboratório Central da empresa E-VIAS, em Curitiba/PR, onde foram testadas quanto a Abrasão Los Angeles (DNER, 1998), durabilidade do agregado graúdo e miúdo (DNER, 1994b), equivalência de areia (DNER, 1997), adesividade (DNER, 1994a; ABNT, 2017) índice de forma (DNIT, 2020) e índice de lamelaridade (DER-PR, 1996). Após a realização destes ensaios com os agregados, os resultados foram comparados para atestar o atendimento às especificações, sendo: (a) para o CAP convencional, a norma DNIT 031/2006 – ES (DNIT, 2006) e a norma DER/PR ES-P 21/17 (DER-PR, 2017b); (b) para ligante modificado, a norma DNER-ES 385/99 (DNER, 1999) e a norma DER/PR ES-P 15/17 (DER-PR, 2017a). Todos os agregados utilizados atenderam às especificações exigidas pelas normas relacionadas.

Para a produção das misturas asfálticas, foram utilizados dois ligantes asfálticos, sendo um convencional (CAP 50/70) e outro modificado por polímero SBS (AMP 55/75-E). Os ensaios de caracterização atestaram o atendimento às especificações anteriormente citadas. Para a produção das misturas asfálticas, foram utilizadas as faixas granulométricas C, D e E do DER-PR (DER-PR, 2017), e faixa C do DNIT (DNIT, 2006). A Tabela 1 apresenta uma relação de amostras produzidas por faixa granulométrica e por ligante, que foram posteriormente ensaiadas a deformação permanente.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 1. Número de amostras produzidas por faixa granulométrica e tipo de ligante

faixa granulométrica	tipo de ligante	número de corpos de prova
Faixa C (DER-PR)	AMP 55/75-E	39
Faixa D (DER-PR)	AMP 55/75-E	07
Faixa E (DER-PR)	AMP 55/75-E	02
Faixa C (DNIT)	AMP 55/75-E	04
Faixa C (DER-PR)	CAP 50/70	42
Faixa D (DER-PR)	CAP 50/70	17
Faixa C (DNIT)	CAP 50/70	24
TOTAL		135

Após a definição das curvas granulométricas e da escolha dos ligantes asfálticos, foi realizado o procedimento de dosagem para determinação do teor ótimo de ligante, em conformidade com os procedimentos volumétricos experimentais do método Marshall (DNER, 1995; BERNUCCI *et al.*, 2022). Buscou-se obter volume de vazios (V_v) próximo de 4%.

Em etapa subsequente, foram moldados corpos de prova para ensaio no equipamento de determinação de deformação permanente via método Hamburgo (AASHTO, 2017). Para cada mistura asfáltica, foi preparado um total de quatro corpos de prova, em diâmetro de 150mm. A compactação dos corpos de prova ocorreu no compactador giratório Superpave, marca Pine®, modelo AFG2CS, no Laboratório Central da Empresa E-VIAS, em Curitiba/PR. Fixou-se altura do corpo de prova em 62 mm, com massa de mistura asfáltica a ser compactada calculada para obtenção do V_v de $7 \pm 1\%$ em cada corpo de prova. Após a conclusão da compactação, seguiu-se o procedimento descrito pelas normas DNIT 428/2022 – ME (DNIT, 2022) e NBR 15573 (ABNT, 2012).

Após a produção dos corpos de prova, os mesmos foram submetidos ao ensaio de deformação permanente via método Hamburgo (AASHTO, 2017). Pares de corpos de prova foram inseridos na máquina, marca Troxler®, modelo PMW Wheel Tracker, onde foram submersos em água até a temperatura estabilizar em $50 \pm 1^\circ\text{C}$. A partir de então, uma roda metálica com largura de 47 mm e carga de 705 N passou pelos corpos de prova, medindo 11 pontos de deformação a cada ciclo. Quando se atingiu 20.000 ciclos de carregamento ou deformação de 20 mm em qualquer um dos pontos de leitura, o ensaio foi finalizado. O resultado da deformação adotado foi a média dos 11 pontos de leitura no momento de encerramento do ensaio.

Após a obtenção do resultado de deformação permanente para todas as misturas asfálticas apresentadas na Tabela 1, procedeu-se com a análise da influência do tipo do ligante asfáltico utilizado, da origem geográfica dos agregados e da faixa granulométrica no desempenho a deformação permanente das respectivas misturas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, realizou-se a análise da influência do tipo de ligante asfáltico utilizado para a produção das misturas asfálticas. Conforme se pode observar na Figura 2, há uma diferença significativa entre os valores médios obtidos entre o CAP convencional 50/70 e o CAP modificado por polímero SBS (AMP 55/75-E).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

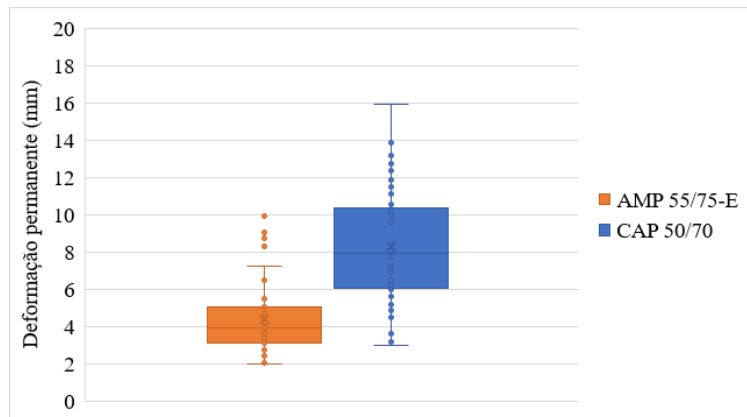


Figura 2. Resultados de deformação permanente de misturas asfálticas em função do tipo de ligante.

Muito embora uma parcela da variação de resultados possa estar atribuída à faixa granulométrica distinta entre as amostras, verifica-se que, estatisticamente, mais de 50% dos resultados de misturas com AMP 55/75-E apresentaram deformação entre 3,0 e 5,0 mm. Já em análise das misturas produzidas com CAP 50/70, 50% dos resultados situam-se em faixa de 6,0 a 10,4 mm de deformação. A redução verificada na média da deformação permanente de misturas asfálticas produzidas com ligante modificado por polímero SBS em relação ao CAP convencional também foi registrada nos ensaios de Khodai e Mehrara (2009), Kök e Çolak (2011), Marcon (2016) e Oliveira *et al.* (2020).

Posteriormente, procedeu-se a análise da deformação permanente das amostras ensaiadas com base na mesorregião de origem dos agregados. Devido a obtenção de resultados distintos de deformação permanente para os dois tipos de ligante, optou-se por realizar uma segmentação por mesorregião e por tipo de ligante asfáltico (CAP) utilizado nas respectivas misturas. A Figura 3 apresenta o resultado de deformação permanente de misturas com ligante AMP 55/75-E. Já a Figura 4 apresenta o resultado de deformação permanente de misturas produzidas com ligante CAP 50/70.

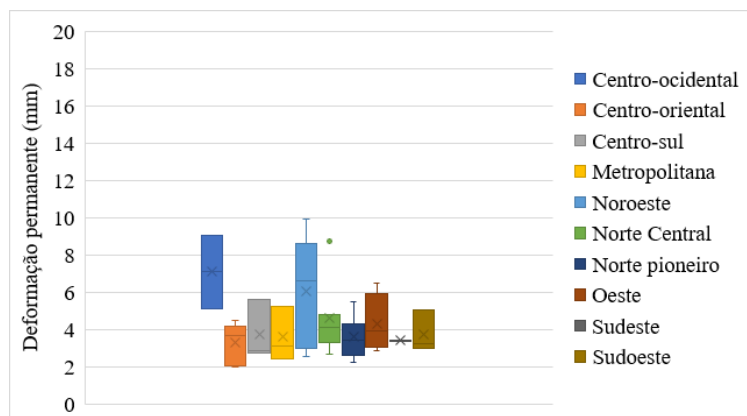
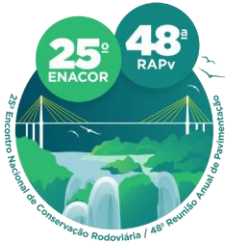


Figura 3. Resultado de deformação permanente das misturas asfálticas com AMP 55/75-E em função da região de origem dos agregados.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

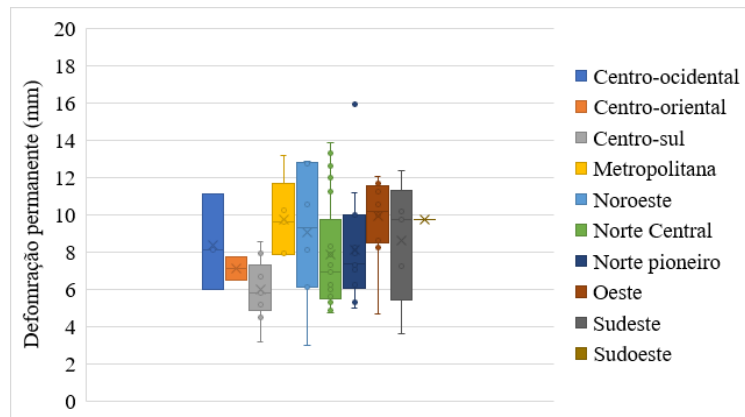


Figura 4. Resultado de deformação permanente das misturas asfálticas com CAP 50/70 em função da região de origem dos agregados.

Em análise da Figura 3, é possível observar que as misturas com pior desempenho à deformação permanente foram encontradas em misturas asfálticas produzidas com agregados provenientes da região centro-ocidental e noroeste do Paraná. Porém, quando se analisa a Figura 4 é possível verificar que os resultados do ensaio de deformação permanente de misturas com agregados das regiões centro-ocidental e noroeste não representaram diferença estatística em relação às misturas com agregados de outras regiões. Por conseguinte, muito embora os resultados das misturas produzidas com AMP 55/75-E tenham apresentado maiores deformações com agregados provenientes da região centro-ocidental e noroeste, não é possível afirmar que este desempenho é atribuído exclusivamente à origem geográfica dos agregados.

Em etapa complementar, classificou-se os resultados de deformação permanente das misturas asfálticas em função da curva granulométrica adotada. A Figura 5 apresenta o resultado de DP classificado por faixa granulométrica das misturas com ligante AMP 55/75-E. Já a Figura 6 apresenta resultado de DP para misturas produzidas com ligante CAP 50/70.

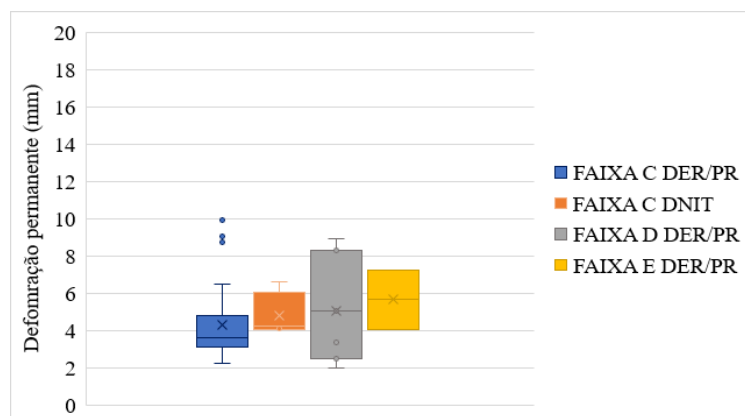
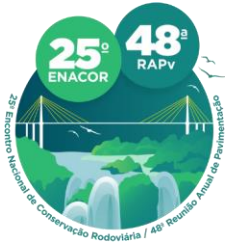


Figura 5. Resultado de deformação permanente das misturas asfálticas com AMP 55/75-E em função da faixa granulométrica do agregado.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

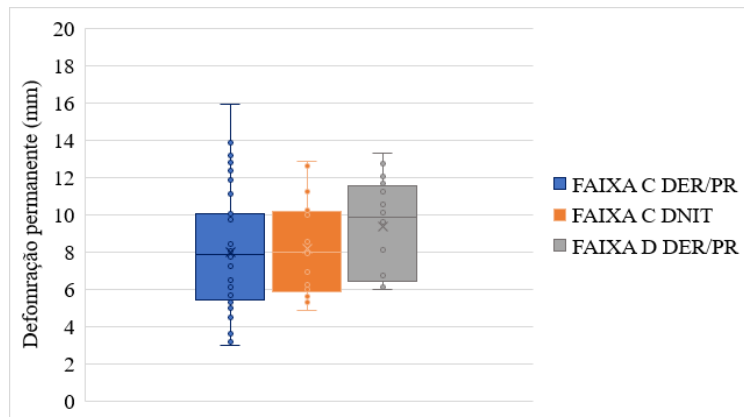


Figura 6. Resultado de deformação permanente das misturas asfálticas com CAP 50/70 em função da faixa granulométrica do agregado.

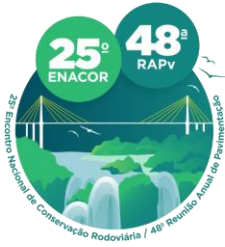
Em análise da Figura 5 nota-se que, em média, as misturas produzidas com granulometria enquadrada na Faixa C do DER-PR e utilizando ligante AMP 55/75-E tiveram resultados ligeiramente melhores que aquelas produzidas com outras faixas granulométricas. Já em análise da variabilidade de resultados, a mesma Faixa C do DER-PR apresentou a maior variação de DP das misturas ensaiadas, independente do ligante utilizado. Isso pode ser atribuído ao maior número de amostras ensaiadas. A utilização da Faixa D do DER-PR, por sua vez, apresentou o pior desempenho para DP com ligante CAP 50/70. Em última análise, pode-se verificar que o desempenho das misturas, tanto com CAP 50/70 quanto com AMP 55/75-E, não apresentaram diferenças significativas de deformação permanente medida em função da faixa granulométrica utilizada.

Leandro *et al.* (2021) observaram que o índice de forma dos agregados influenciou diretamente o resultado de deformação permanente de suas misturas asfálticas. Já Nascimento, Guimarães e Carneiro (2015) apontam que a granulometria dos agregados foi preponderante à deformação permanente em relação ao tipo de ligante, porém utilizando somente ligantes não-modificados em sua pesquisa. Todavia, a análise do presente artigo pode não corresponder às conclusões dos estudos supracitados devido ao agrupamento de dados por faixa granulométrica. Para cada mistura produzida, observou-se valores diferentes de abrasão Los Angeles, adesividade, durabilidade e índice de forma dos agregados. Além disso, a utilização de curva granulométrica dos agregados também foi diferente para cada mistura, mesmo que atendendo aos limites das especificações das faixas granulométricas do DER-PR e DNIT. Por conta disto, a grande dispersão dos resultados não possibilitou uma conclusão estatística de influência da faixa granulométrica dos agregados na resistência à deformação permanente, em contraponto aos estudos apresentados.

CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados dos corpos de prova de misturas asfálticas frente à deformação permanente, é possível concluir que:

- O tipo de ligante utilizado tem influência no desempenho da mistura asfáltica frente ao dano por deformação permanente;
- A utilização de ligante modificado por polímero SBS apresentou redução de até duas vezes na deformação medida dos corpos de prova, em comparação as misturas produzidas com CAP 50/70;



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



- Não foi possível estabelecer uma correlação entre o desempenho de misturas asfálticas e a mesorregião de origem dos agregados, muito embora se tenha verificado que agregados provenientes da região noroeste e centro-ocidental tenham apresentado deformações ligeiramente maiores que misturas produzidas com agregados de outras regiões do estado do Paraná;
- A análise de deformação permanente em função da faixa granulométrica adotada para a pesquisa também não resultou em alterações estatisticamente significativas no desempenho das misturas frente à deformação permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **T 324**. Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures. Washington D.C., 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **15573**: Misturas asfálticas – Determinação da densidade aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **12583**: Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 2017.

BAHIA, H. U.; HANSON, D. I.; ZENG, M.; ZHAI, H.; KAHTRI, M. A.; ANDERSON, R. M. **Characterization of modified asphalt binders in Superpave mix design**. NCHRP Report 459. Washington (DC): Transportation Research Board, 2001.

BARROS, L. M. **Deformação permanente de misturas asfálticas**. 2017. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

BARROS L. M.; LIMA, C. D. A.; NASCIMENTO, L. A. H.; MOTTA, L. M. G.; ARAGÃO, F. T S. Aspectos dos ensaios de deformação permanente e a perspectiva brasileira para utilização do dimensionamento de pavimentos asfálticos. XXXIII Congresso de Pesquisa e Ensaio em Transportes da ANPET, **Anais**, Balneário Camburiú, p. 1156-1167, nov. 2019.

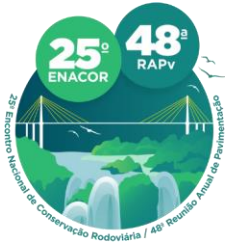
BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. 2ª ed. Rio de Janeiro: Petrobras/ABEDA, 2022.

BOEIRA, F. D. **Estudo da rigidez, da deformação permanente e da fadiga de misturas asfálticas com ligantes convencionais e modificados**. 2018. 286 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BUSANG, S.; MAINA, J. Influence of aggregates properties on microestrutural properties and mechanical performance of asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 318, 126002, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.126002

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2022**. 232 p. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2022.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ (DER-PR). **Manual de execução de serviços rodoviários**. Curitiba, 1996.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ (DER-PR). **15/17**: Pavimentação: concreto asfáltico usinado à quente com asfalto polímero. Curitiba, 2017a, 22 p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ (DER-PR). **21/17**: Pavimentação: concreto asfáltico usinado à quente. Curitiba, 2017b, 23 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **078**: Agregado graúdo – adesividade a ligantes betuminosos. Rio de Janeiro, 1994a, 3 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **089**: Agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro, 1994b, 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **043**: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995, 11 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **054**: Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997, 10 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **035**: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998, 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **385**: Pavimentação – concreto asfáltico com asfalto polímero. Rio de Janeiro, 1999, 15 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **005**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003, 12 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **031**: Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006, 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **424**: Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020, 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **428**: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022, 14 p.

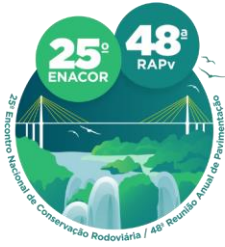
KHODAIL, A.; MEHRARA, A. Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 23, n. 7, p. 2586-2592, jul. 2009. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.015

KÖK, B.V.; ÇOLAK, H. Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 8, p. 3204-3212, ago. 2011. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.005

LEANDRO, R. P.; SAVASINI, K. V.; BERNUCCI, L. L. B.; BRANCO, V. T. F. C. Influência das propriedades de forma da fração graúda do agregado no controle da deformação permanente de misturas asfálticas densas. **Transportes**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 1-13, 18 ago. 2021. DOI: 10.14295/transportes.v29i2.2395

LIMA, C.; MOTTA, L. Study of Permanent Deformation and Granulometric Distribution of Graded Crushed Stone Pavement Material. **Procedia Engineering**, v. 143, p. 854-861, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.141

MARCON, M. F. **Estudo e comparação do desempenho mecânico e reológico entre concretos asfálticos**



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



modificados por polímero SBS, borracha moída de pneu e nanomateriais. 2016. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MOURA, E. **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório.** Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2010, 299 p.

NASCIMENTO, L. A. H. **Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

NASCIMENTO, F. A. C.; GUIMARÃES, A. C. R.; CARNEIRO, L. A. V. Análise da influência das propriedades do ligante asfáltico e do esqueleto pétreo na deformação permanente de misturas asfálticas. 44ª Reunião Anual de Pavimentação e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, **Anais**, Foz do Iguaçu, 18 p., ago. 2015.

OLIVEIRA, Y. M. M.; THIVES, L. P.; CARLESSO, G. C.; SILVA, A. M. Avaliação da predição do desempenho de misturas asfálticas por meio da caracterização reológicas dos ligantes asfálticos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 17417-17435, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-058>

SPECHT, L. P.; BABADOPULOS, A. L.; DI BENEDETTO, H.; SAUZEAT, C.; SOARES, J. B. Application of the Theory of Viscoelasticity to Evaluate the Resilient Modulus Test in Asphalt Mixes. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 648-658., 2017. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2017.05.037](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.037)