

AVALIAÇÃO DA ZONA DE RESTRIÇÃO COMO CRITÉRIO LIMITADOR EM MISTURAS ASFÁLTICAS UTILIZADAS EM VIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

Francisco Thiago Sacramento Aragão

Jamilla Emi Sudo Lutf

Yong-Rak Kim

University of Nebraska - Lincoln (EUA)

Jorge Barbosa Soares

Universidade Federal do Ceará (Brasil)

RESUMO

Apesar de representar um avanço em equipamentos, protocolos e especificações em comparação aos métodos tradicionais, o projeto Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*) praticamente não incluiu estudos sobre agregados e seus efeitos em misturas asfálticas. Por este motivo, pesquisadores do SHRP (*Strategic Highway Research Program*) se reuniram e propuseram refinamentos ao projeto Superpave, dentre os quais se destacam os pontos de controle e a zona de restrição das granulometrias. O principal objetivo deste trabalho de pesquisa foi a avaliação da necessidade da zona de restrição como critério limitador de misturas do tipo Superpave projetadas para suportar baixos volumes de tráfego. Para este fim, as deformações permanentes de misturas com cinco diferentes granulometrias passando acima, através e abaixo da zona de restrição foram avaliadas. Os resultados apontaram para a não necessidade da zona de restrição como critério limitador de granulometrias.

ABSTRACT

Even though Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*) has really raised innumerable advancements in comparison to the traditional methods, it almost did not include studies on aggregates and their effects on asphalt mixtures. Conscious of this fact, SHRP (*Strategic Highway Research Program*) researchers gathered together and suggested refinements to Superpave such as the control points and the restricted zone of mixture gradations. The main objective of the present research work was the evaluation of the restricted zone as a limiting criterion for Superpave mixtures designed to support low volumes of traffic. In this attempt, permanent deformation of mixtures passing above, through, and below the restricted zone were evaluated. The results indicated that the restricted zone does not need to be considered as a limiting criterion for the gradations evaluated.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de melhorar o desempenho, durabilidade, segurança e eficiência de pavimentos utilizando misturas do tipo concreto asfáltico (CA), o congresso americano criou em 1987 o SHRP (*Strategic Highway Research Program*). Depois de 7 anos de trabalho e de um investimento na ordem de US\$150 milhões, os pesquisadores do SHRP propuseram o projeto Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*), um conjunto de avanços em equipamentos, protocolos e especificações para este tipo de mistura. Entre os avanços pode-se mencionar o novo método de classificação de ligantes asfálticos e novos procedimentos para o projeto de misturas. Embora o Superpave tenha introduzido inúmeras inovações em comparação aos métodos tradicionais, um ponto muito importante não foi praticamente considerado: o estudo do efeito de agregados em propriedades e desempenho de misturas asfálticas. Um fato que se pode mencionar para ilustrar a importância deste tópico é o de que os agregados ocupam cerca de 85% em volume das misturas CA (Khosla *et al.*, 2001). Se considerada a proporção em massa, esse número representa aproximadamente 94% (Prowell *et al.*, 2005).

Consciente deste fato, o SHRP formou um grupo de 14 especialistas em agregados (*Aggregate Expert Task Group* - ETG) e estes, utilizando o que se chama de *Modified Delphi Method* (Método Delphi Modificado), desenvolveram recomendações e/ou refinamentos relacionados às propriedades de agregados e granulometrias que deveriam ser utilizados em misturas do tipo CA. Tal método utiliza uma série de perguntas para coletar a opinião dos especialistas e, diferente do Método Delphi tradicional, permite que os profissionais se encontrem durante a coleta das suas opiniões.

Como resultado de tal pesquisa de opinião, critérios sobre agregados foram propostos, incluindo-se os Pontos de Controle entre os quais as granulometrias deveriam passar e a Zona de Restrição, ZR. De acordo com Cooley Jr. (2002), o critério da ZR já era utilizado antes das recomendações dos especialistas do SHRP. O autor sugere que tais pesquisadores apenas nomearam uma zona das curvas granulométricas que há tempos era reconhecida como uma região através da qual, caso granulometrias passassem, misturas susceptíveis a deformações permanentes seriam produzidas. Já Kandhal e Mallick (2001) colocam que antes do Superpave a maioria dos estados americanos projetava misturas asfálticas cujas granulometrias passavam acima (*Above the Restricted Zone* - ARZ) ou através da Zona de Restrição (*Through the Restricted Zone* - TRZ).

A ZR está situada sobre a Linha de Densidade Máxima (LDM) entre as peneiras com abertura de 0,3mm (número 50) e abertura de 2,36mm (número 8) ou a com abertura de 4,75mm (número 4), dependendo do Tamanho Máximo Nominal dos Agregados (TMN). TMN representa uma peneira acima da primeira através da qual mais do que 10% dos agregados são acumulados.

De acordo com pesquisadores do SHRP, a ZR não deveria ser violada porque isso produziria misturas frágeis durante o processo de compactação. Outro argumento é o de que pelo fato de misturas que passam através da ZR serem mais densas que outras, os Vazios no Agregado Mineral (VAM) seriam reduzidos, assim como o volume de vazios (Vv) da mistura. Este cenário resultaria em misturas não resistentes às deformações permanentes quando submetidas às altas temperaturas de verão. No entanto, a necessidade do uso da zona de restrição vem sendo questionada pela comunidade técnica e científica.

No Brasil, a temática agregados vem sendo muito pouco explorada em pesquisas. Destacam-se os trabalhos de Fernandes Jr. *et al.* (2000), Marques (2001) e Gouveia (2002, 2006). O presente trabalho de pesquisa teve como principal objetivo avaliar a necessidade da ZR como critério limitador de granulometrias de misturas Superpave. No estudo, o comportamento mecânico de 5 misturas com diferentes granulometrias foi avaliado utilizando-se o equipamento de carga de roda *Asphalt Pavement Analyzer* (APA). Além disso, a compactabilidade e a resistência à passagem do tráfego também foram previstos indiretamente por meio dos novos conceitos de Índice de Densificação na Construção (*Construction Densification Index* - CDI) e Índice de Densificação pelo Tráfego (*Traffic Densification Index* - TDI) propostos por Mahmoud e Bahia (2004).

Estes pesquisadores também mostraram haver uma forte correlação entre o índice TDI e a resistência das misturas à deformação permanente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A necessidade da zona de restrição tem sido questionada na comunidade técnico-científica desde a sua implementação. Em 2004, Zhang *et al.* avaliaram o efeito da ZR no desempenho à deformação permanente de misturas com granulometria graúda para níveis de tráfego elevados de acordo com especificações do Departamento de Transportes do Estado do Alabama (ALDOT) nos Estados Unidos. Após avaliarem o desempenho de misturas com TMN de 12,5, 19 e 25mm, os referidos pesquisadores concluíram que misturas TRZ tiveram desempenho similar ou melhor que o de outras. Eles também sugeriram que o desempenho de misturas BRZ é mais sensível às propriedades dos agregados do que o desempenho de misturas ARZ e TRZ.

Cooley Jr. *et al.* (2002) revisaram 14 trabalhos de pesquisa publicados sobre a ZR para determinar a sua importância como critério para granulometrias de misturas Superpave. A grande maioria dos trabalhos revisados tratou da relação entre a ZR e as deformações permanentes das misturas. Os autores concluíram que a literatura não aponta relações entre a ZR e os desempenhos quanto a deformação permanente e a fadiga. Assim como Kandhal e Cooley Jr. (2001), os pesquisadores sugeriram que misturas TRZ obedecendo aos critérios volumétricos e limites de angularidade fina propostos pelo Superpave teriam desempenhos semelhantes ou superiores aos de outras misturas. A ZR seria, portanto, um critério redundante.

Kandhal e Cooley Jr. (2001) investigaram a necessidade da ZR em misturas cujos parâmetros volumétricos e angularidade de agregados finos atendessem as especificações. Os pesquisadores concluíram que, caso os parâmetros volumétricos e valores de angularidade fina obedecessem aos limites estabelecidos, o critério da ZR seria redundante. Mais ainda, os autores recomendaram que a ZR deveria ser retirada das especificações AASHTO e das práticas dos projetos de mistura Superpave, independente do TMN ou do volume de tráfego.

Sebaaly *et al.* (2004) analisaram dados acumulados de testes de desempenho executados tanto em seções de campo quanto em laboratório. As seções de teste foram projetadas para níveis de tráfego e condições ambientais tipicamente encontrados no estado de Nevada, nos Estados Unidos. O desempenho das seções de campo foi monitorado até 5 anos após a construção. Como conclusão dos seus trabalhos, os autores observaram que misturas TRZ tiveram desempenho melhor do que misturas BRZ. A rigidez de misturas TRZ também foi maior do que a de misturas BRZ.

Hand *et al.* (2001) avaliaram o impacto das granulometrias e TMN no desempenho a deformação permanente de misturas em concreto asfáltico. Um total de 21 misturas foi avaliado em diferentes testes de desempenho. Os pesquisadores concluíram que o parâmetro TMN não afetou significativamente o potencial de deformação permanente das misturas. Dos resultados, os autores também concluíram que misturas ARZ e TRZ tiveram melhores desempenhos que misturas BRZ.

Chowdhury *et al.* (2001a, 2001b) conduziram uma investigação ampla sobre o efeito da ZR no desempenho à deformação permanente de misturas em concreto asfáltico. Para isso os autores utilizaram diversos tipos de agregados, como granito triturado, pedra calcária triturada, cascalho de rio triturado e uma mistura de cascalho de rio triturado com outros finos naturais. Granulometrias ARZ, TRZ e BRZ foram avaliadas. Os pesquisadores concluíram que não houve relação entre a ZR e as deformações permanentes quando agregados triturados foram utilizados nos projetos de mistura. Eles também recomendaram que a ZR deveria ser excluída das especificações de projeto de misturas HMA.

Embora muitas pesquisas tenham mostrado a não necessidade da zona de restrição como critério limitador no projeto de misturas asfálticas, ainda questiona-se seu uso, já que nos estudos anteriores as misturas utilizavam agregados de alta qualidade, com valores de angularidade do agregado graúdo (*Coarse Aggregate Angularity*, CAA) por volta de 100, i.e., 100% dos agregados graúdos possuíam duas ou mais faces fraturadas, o que aumenta o intertravamento da mistura e a sua estabilidade. É, portanto, importante a investigação dos efeitos da zona de restrição na deformação permanente para o caso particular de misturas utilizadas em vias de baixo volume de tráfego, nas quais são utilizados agregados mais baratos, com menor angularidade. No estado de Nebraska, Estados Unidos, as misturas do tipo SP2 possuem geralmente CAA entre 65 e 85, sendo, portanto, usadas na presente pesquisa.

3. MATERIAIS

3.1. Agregados

Agregados com diferentes angularidades foram utilizados para facilitar o controle dos valores finais de CAA e FAA (*Fine Aggregate Angularity*) das misturas, como mostrado na Tabela 1. Quanto à origem, os agregados utilizados foram:

- a) rochosos (*limestone aggregates*: 5/8"LS, 1/4"LS e *screenings*); e
- b) agregados provenientes de margens de rios de Nebraska (*gravel aggregates*: 2A, 3ACR e 47B).

Tabela 1: Propriedades físicas dos agregados.

Agregado	Gsb*	Agregado miúdo		Agregado graúdo			
		Absorção (%)	FAA (%)	Gsb	Absorção (%)	CAA (%)	Equivalente de Areia (%)
2 ^a	2,580	0,76	37,6	2,589	0,68	28	100
1/4" LS	N/A	N/A	N/A	2,607	1,54	100	N/A
Screening	2,478	3,66	46,7	N/A	N/A	N/A	26
5/8" LS	N/A	N/A	N/A	2,624	1,25	100	N/A
3ACR	2,556	1,13	43,7	2,588	0,75	70	84
47B	2,605	0,49	37,3	2,594	0,65	35	98

* Gsb = densidade real do agregado

3.2. Fíler

Como fíleres, utilizou-se 3ACR, *screenings* e cal hidratada. Este último fíler é requerido pelo estado de Nebraska para evitar o dano por umidade nos pavimentos asfálticos. A cal hidratada tem-se mostrado um excelente material para melhorar a adesão e a coesão de misturas asfálticas, além de contribuições positivas na vida de fadiga e na redução de deformações permanentes. No presente estudo, a cal hidratada foi obtida da *Mississippi Lime Company* localizada em Sainte Genevieve, Missouri. As propriedades químicas e físicas são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades físicas e químicas da cal hidratada utilizada.

Propriedades físicas	
Densidade	2,343
Brilho Seco, G.E.	92
Mediana do tamanho das partículas - Sedigrafia	2 µm
pH	12,4
BET Área de Superfície	22 m ² /g
-100 Malha (150 µm)	100%
-200 Malha (75 µm)	99%
-325 Malha (45 µm)	94%
Massa Específica Aparente Seca – Amostra Solta	0,352 g/cm ³
Massa Específica Aparente Seca – Amostra aglomerada	0,561 g/cm ³
Propriedades químicas	
Ca(OH) ₂ – Total	98%
Ca(OH) ₂ – Disponível	96,8000%
CO ₂	0,5000%
H ₂ O	0,7000%
CaSO ₄	0,1000%
Enxofre – Equivalente	0,0240%
Sílica Cristalina	< 0,1000%
SiO ₂	0,5000%
Al ₂ O ₃	0,2000%
Fe ₂ O ₃	0,0600%
MgO	0,4000%
P ₂ O ₅	0,0100%
MnO	0,0025%

3.3. Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

No presente estudo utilizou-se o CAP classificado como PG 64-22 segundo as especificações Superpave, oriundo da companhia *KOCH Materials*, localizada em Omaha, Nebraska. As propriedades do CAP foram obtidas utilizando a metodologia Superpave. A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados.

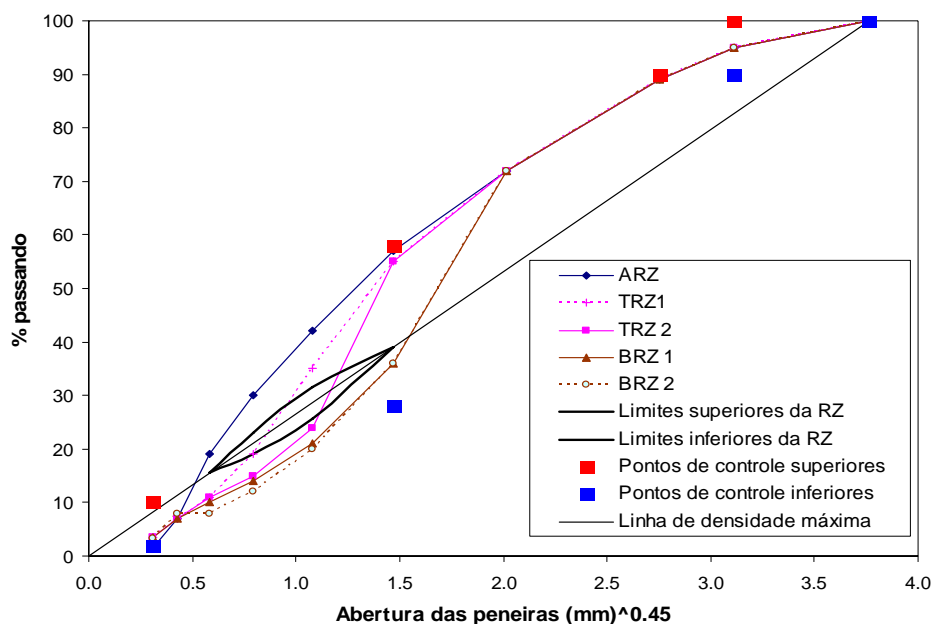
Tabela 3: Propriedades Mecânicas do CAP PG 64-22.

Teste	Temperatura (°C)	Resultado	Limites
Original DSR, $G^*/\sin\delta$ (kPa)	64	1,48	Min. 1,00
RTFO - Envelhecido DSR, $G^*/\sin\delta$ (kPa)	64	3,50	Min. 2,20
PAV - Envelhecido DSR, $G^*\sin\delta$ (kPa)	25	4.576	Max. 5.000
PAV - Envelhecido BBR, Rigidez (MPa)	-12	203,97	Max. 300
PAV - Envelhecido BBR, m -value	-12	0,31	Min. 0,30

4. METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar a necessidade da zona de restrição para vias de baixo volume de tráfego (considerado para o presente estudo de 1 a 3 milhões de operações de eixo padrão), 5 misturas com diferentes granulometrias foram selecionadas e posteriormente testadas no equipamento APA do Departamento de Estradas do Estado de Nebraska (NDOR) nos Estados Unidos.

A pesquisa laboratorial iniciou-se com o projeto das misturas utilizando a metodologia Superpave. Com o intuito de se avaliar a necessidade da zona de restrição, a parte grossa das granulometrias (acima da peneira No. 4) foi mantida constante. O CAA médio foi de 85. As 5 granulometrias estudadas diferiram na sua parte miúda (abaixo da peneira No. 4), como mostrado na Figura 1. Das granulometrias avaliadas, uma foi projetada como ARZ, duas como TRZ e duas como BRZ.

**Figura 1.** Distribuição granulométrica das misturas avaliadas.

O teor de projeto de CAP foi encontrado por tentativa e erro. Para a compactação dos corpos-de-prova, utilizou-se o compactador giratório Superpave (*Superpave Gyratory*

Compactor - SGC). As misturas avaliadas tiveram que atender às especificações do NDOR para misturas do tipo SP2. A Tabela 4 mostra os parâmetros volumétricos requeridos bem como o esforço de compactação necessário. As 5 misturas projetadas satisfizeram todas as especificações exigidas pelo NDOR, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 4: Parâmetros volumétricos e propriedades de agregados para misturas SP2.

Esforços de Compactação	Especificações do NDOR (Misturas SP2)
$N_{inicial}$	7
$N_{projeto}$	76
$N_{máximo}$	117
Propriedades de Agregados	
CAA (%)	> 65
FAA (%)	> 43
EA (%)	> 40
F&E (%)	< 10
Parâmetros Volumétricos	
%V _v	4 ± 1
%V _{AM}	> 14
%V _{CB}	65 - 78
P _b	-
Filer / CAP	0,7 – 1,7

EA = equivalente de areia

F&E = *flat & elongated particles* (partículas longas e achatadas)

VCB = vazios cheios com betume

P_b = teor de ligante

Tabela 5: Propriedades volumétricas das misturas estudadas.

	Limites (NDOR)	ARZ	TRZ 1	TRZ 2	BRZ 1	BRZ 2
G _{mm}	-	2,447	2,421	2,443	2,429	2,418
G _{sb}	-	2,583	2,582	2,582	2,575	2,581
G _{mb}	-	2,336	2,312	2,339	2,331	2,311
CAA	> 65	84,6	84,6	84,6	84,6	84,6
FAA	> 43	42,9	42,95	42,89	42,93	40,87
%V _v	4 ± 1	4,6	4,5	4,2	4	4,4
VAM	> 14	14,4	15,5	14,2	14,3	15,5
VCB	65 - 78	68,4	71	70,2	71,7	71,5
%P _b	-	5,36	5,65	5,29	5,27	5,59
D/B	0.7 - 1.7	1,56	1,19	1,46	1,31	1,3

G_{mm} = densidade máxima teórica da mistura

G_{mb} = densidade aparente da mistura

D/B = dust/bitumen (percentual filer/betume, onde filer no caso representa material passante na peneira No. 200)

5. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Para caracterização mecânica foi utilizado o *Asphalt Pavement Analyzer* (APA), que é um equipamento de carga de roda capaz de realizar ensaios de deformação permanente e de vida de fadiga para a caracterização de misturas betuminosas. No Brasil, a Petrobras BR dispõe deste equipamento. O ensaio consiste da aplicação de cargas lineares sobre

mangueiras pressurizadas conectadas a rodas sob as quais se colocam corpos-de-prova para simular condições reais de campo. A pressão das mangueiras de borracha que ficam em contato com o corpo-de-prova pode ser calibrada entre 7 e 8,44kgf/cm² (100 e 120psi), simulando a pressão dos pneus dos veículos em campo (Loureiro, 2003). Cada passagem da roda de aço é contada como um ciclo.

É importante mencionar que não é possível se lançar mão dos resultados do APA para análises quantitativas de previsão de deformação. O uso de tal equipamento se limita à comparação qualitativa de desempenho entre diferentes misturas, visto que não é possível a simulação ideal das condições de campo, bem como o envelhecimento que ocorre na mistura ao longo do tempo.

Para o presente estudo, corpos-de-prova cilíndricos com 150mm de diâmetro e 75mm de altura foram confeccionados utilizando o SGC. O volume de vazios foi fixado em 4% \pm 0,5%. A câmara onde os testes foram conduzidos foi mantida a 64°C, seguindo recomendações de Kandhal e Cooley Jr. (2003). Antes de testadas, as amostras foram condicionadas por um período de 6 a 24 horas a tal temperatura. Dois foram os critérios de parada dos ensaios: (i) 8000 ciclos ou (ii) 12mm de deformação permanente na amostra.

A Tabela 6 mostra as deformações permanentes médias das amostras avaliadas. Para cada mistura, foram testados 3 pares de corpos-de-prova, descartando-se para o cálculo da média o par com maior desvio padrão.

Tabela 6: Resultados de teste das amostras de APA.

Mistura	Amostra	Número de Ciclos	Deformação Permanente (mm)	Deformação Permanente/Ciclo (mm/ciclo)
ARZ	1	8000	5	6,25E-04
	2	8000	5,6	7,00E-04
TRZ 1	1	8000	4,2	5,25E-04
	2	8000	6,6	8,25E-04
TRZ 2	1	8000	7,5	9,38E-04
	2	5300	9,1	1,72E-03
BRZ 1	1	6000	10,4	1,73E-03
	2	6390	11,9	1,86E-03
BRZ 2	1	5480	9	1,64E-03
	2	6324	11,9	1,88E-03

Para uma análise mais apropriada dos resultados, utilizou-se a relação entre as deformações permanentes e o número de ciclos aos quais as amostras foram submetidas, como mostrado na Tabela 6. As médias das razões deformação permanente/ciclo para cada tipo de mistura são apresentadas na Figura 2.

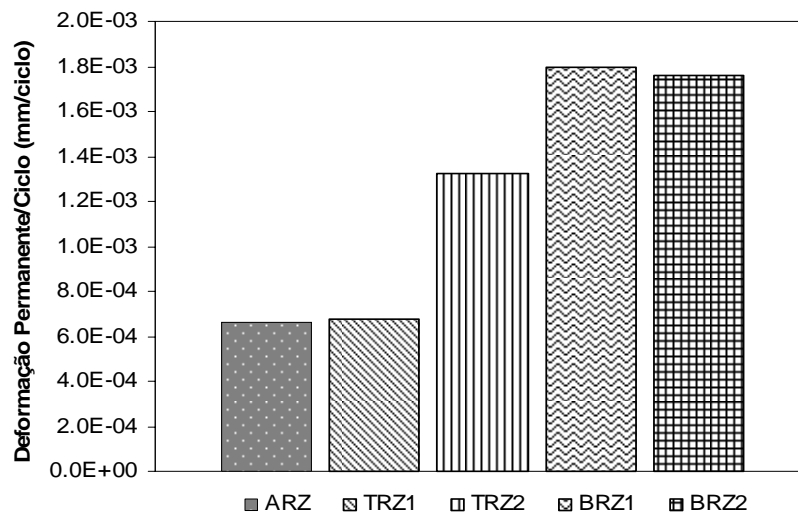


Figura 2. Deformação permanente/ciclo das misturas estudadas.

Como se pode observar na Figura 2, as misturas passando através da zona de restrição apresentaram susceptibilidade à deformação permanente semelhante (TRZ1 em comparação à ARZ) ou inferior (TRZ 1 e 2 em comparação às BRZ 1 e 2). Da análise da Figura 2 também se observa que a qualidade das misturas em relação às deformações permanentes é reduzida à medida que se diminui a quantidade de finos nas misturas (ARZ é a mistura com maior quantidade de finos e BRZ, a com menor).

Por fim, os conceitos CDI e TDI propostos por Mahmoud e Bahia (2004) reforçaram os resultados obtidos nos ensaios do APA. De acordo com estes pesquisadores, uma previsão da trabalhabilidade e suporte ao tráfego pode ser feita utilizando-se a curva de densificação (Densidade Máxima Teórica – DMT ou G_{mm} versus número de ciclos de compactação no SGC). A área sob tal curva entre 8 ciclos e 92% de densificação representa o CDI e fornece uma idéia do esforço a ser aplicado em campo na mistura para que esta atinja a densificação inicial de 92% (8% de vazios). Um alto CDI representa a necessidade de mais passagens do rolo compactador, o que não é desejável.

Por outro lado, um alto TDI (área sob a curva de densificação entre 92% e 98% do valor de DMT ou G_{mm}) é desejável, pois isto significa que um maior volume de tráfego será suportado pela mistura até que esta atinja a densificação final para a qual foi projetada. Adicionalmente, Mahmoud e Bahia (2004) mostraram haver uma forte correlação entre o índice TDI e a resistência das misturas à deformação permanente.

Os valores médios de CDI e TDI para as misturas ARZ, TRZ e BRZ estudadas são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Conforme mencionado acima, baixos valores de CDI e altos valores de TDI representam misturas de melhor qualidade. Pode-se então concluir das Figuras 3 e 4 que a mistura com granulometria passando acima da zona de restrição foi a que apresentou melhores resultados tanto para trabalhabilidade (baixo CDI) quanto para a capacidade de suporte ao tráfego (alto TDI).

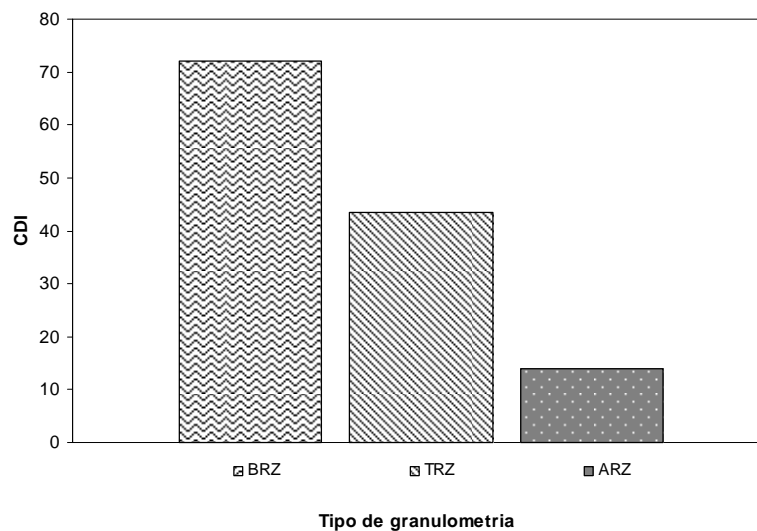


Figura 3. CDI das misturas em estudo.

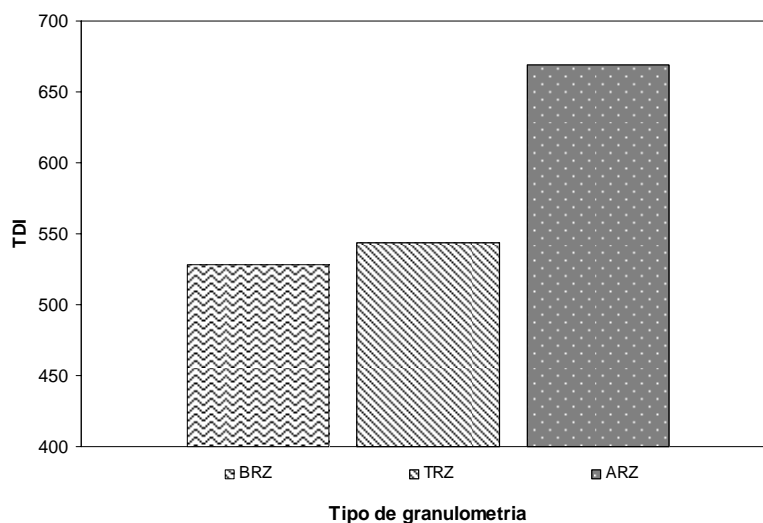


Figura 4. TDI das misturas em estudo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados obtidos para misturas usadas em pavimentos de baixo volume de tráfego no estado de Nebraska, Estados Unidos, nota-se que as misturas TRZ apresentaram comportamento mecânico similar ou até mesmo superior ao das misturas que não passaram pela zona de restrição. Entre as misturas estudadas, as BRZ apresentaram maior susceptibilidade à deformação permanente, como pode ser visto na Figura 2.

Outro fato observado na Figura 2 foi a tendência de desempenho, a saber: claramente, misturas com maior quantidade de finos (ARZ) se mostraram mais resistentes à

deformação permanente do que aquelas com quantidade intermediária (TRZ) e reduzida (BRZ) de finos. Adicionalmente, misturas TRZ demonstraram maior resistência em comparação às BRZ.

Por fim, os conceitos de CDI e TDI foram utilizados e confirmaram a tendência observada na análise dos resultados do APA. Como se pode observar nas Figuras 3 e 4, tanto para o critério de CDI quanto para o de TDI, a ordem das misturas de maior para menor qualidade foi ARZ, TRZ e BRZ.

Dessa forma, conclui-se do presente estudo, considerando misturas semelhantes aquelas investigadas, que misturas projetadas para um baixo volume de tráfego (reduzido CAA) podem apresentar comportamento mecânico satisfatório com relação à deformação permanente ainda que violem os critérios da zona de restrição. Portanto, reforçando a sugestão de outros pesquisadores, sugere-se a redundância da zona de restrição enquanto critério limitador de granulometrias de misturas Superpave.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Choubane, B., G. C. Page e J. A. Musselman (2000) Suitability of Asphalt Pavement Analyzer for Predicting Pavement Rutting. In *Transportation Research Record, No. 1723*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 107-115.
- Chowdhury, A., J. D. Grau, J. W. Button e D. N. Little (2001a) Effect of Gradation on Permanent Deformation of Superpave Hot-Mix Asphalt. *Presented at 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, TRB, Washington, D.C.
- Chowdhury, A., J. W. Button e J. D. Grau (2001b) Effects of Superpave Restricted Zone on Permanent Deformation. Project Title: Evaluation of Superpave Aggregate Specifications. Report No. 201-2, Texas A&M University.
- Fernandes Jr., J.L., R. Roque, M. Tia, e L. Casanova (2000) Evaluation of uncompacted void content of fine aggregate as a quality indicator of materials used in Superpave mixtures. In *Transportation Research Record, No. 1723*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 37-44.
- Gouveia, L.T (2002) Avaliação do ensaio de angularidade do agregado fino (FAA) da especificação Superpave. *Dissertação (Mestrado)*, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Gouveia, L.T. (2006) Contribuições ao estudo da influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas. *Tese de Doutorado*, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Hand, A. J. e A. L. Epps. (2001) Impact of Gradation Relative to Superpave Restricted Zone on Hot-Mix Asphalt Performance. In *Transportation Research Record, No. 1767*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 158-166.
- Hand, A. J., J. L. Stiadly, T. D. White, A. S. Noureldin e K. Galal (2001) Gradation Effects on Hot-Mix Asphalt Performance. In *Transportation Research Record, No. 1767*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 152-157.
- Loureiro, T.G. (2003) Estudo da Evolução do Dano por Fadiga em Misturas Asfálticas. *Dissertação de Mestrado*. PETRAN, UFC, CE.
- Kandhal, P. S. e L. A. Cooley Jr. (2001) The Restricted Zone in the Superpave Aggregate Gradation Specification. NCHRP Report No. 464, *Transportation Research Board* – National Research Council.
- Kandhal, P. S. e L. A. Cooley Jr. (2002) Coarse- versus Fine-Graded Superpave Mixtures – Comparative Evaluation of Resistance to Rutting. In *Transportation Research Record, No. 1789*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 216-224.

- Kandhal, P. S. e L. A. Cooley Jr. (2003) Accelerated Laboratory Rutting Tests: Evaluation of the Asphalt Pavement Analyzer, NCHRP Report No. 508, *Transportation Research Board* – National Research Council.
- Kandhal, P. S. e R. B. Mallick. (2001) Effect of Mix Gradation on Rutting Potential of Dense-Graded Asphalt Mixtures. In *Transportation Research Record, No. 1767*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 146-151.
- Mahmoud, A. F. F. e H. Bahia (2004) Using the Gyratory Compactor to Measure Mechanical Stability of Asphalt Mixtures. *Report 0092-01-02 of the Wisconsin Highway Research Program* submitted to the Wisconsin Department of Transportation, Madison.
- Marques, G.L.O (2001) Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica. *Seminário de qualificação ao doutoramento*. COPPE/UFRJ. Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro.
- Mohammad, L. N., B. Huang e M. Cea (2001) Characterization of HMA Mixtures with the Asphalt Pavement Analyzer. *ASTM Special Technical Publication*, No. 1412, Aggregate Contribution to Hot Mix Asphalt (HMA) Performance, p. 16-29.
- Park, D. e M. A. Epps (2003) Use of the Asphalt Pavement Analyzer and Repeated Simple Shear Test at Constant Height to Augment Superpave Volumetric Mix Design. *Journal of Transportation Engineering*, v. 129(5), p. 522-530.
- Sebaaly P. E., A. J. T. Hand, W. M. McNamara, D. Weitzel e J. A. Epps (2004) Field and Laboratory Performance of Superpave Mixtures in Nevada. In *Transportation Research Record, No. 1891*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 76-84.
- Watson, D. E., A. Johnson e D. Jared (1997) The Superpave Gradation Restricted Zone and Performance Testing with Georgia Loaded Wheel Tester. In *Transportation Research Record, No. 1583*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 106-111.
- Zhang, J., L. A. Cooley Jr., G. Hurley e F. Parker (2004) Effect of Superpave Defined Restricted Zone on Hot-Mix Asphalt Performance. In *Transportation Research Record, No. 1891*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 103-111.