

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

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



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

### Reciclagem de pavimentos com emulsão asfáltica: efeito da granulometria e da compactação no comportamento resiliente

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

*Katlin Modesto Dorneles<sup>1</sup>; Lucas Czamanski Meireles<sup>1</sup>; Leonardo Lunkes Wagner<sup>1</sup>; Thaís Radünz Kleinert<sup>1</sup>; Lelio Antônio Teixeira Brito<sup>1</sup>; Washington Peres Núñez<sup>1</sup> & Claudio Renato Castro Dias<sup>2</sup>*

#### RESUMO

A reciclagem asfáltica reutiliza materiais do pavimento para construir novas camadas. Uma técnica é usar o fresado, também conhecido como *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), obtido ao remover a camada asfáltica deteriorada e incorporá-lo como agregado nas camadas de base ou sub-base. Tal processo tem crescido no Brasil devido a vantagens técnicas, econômicas e ambientais. No entanto, algumas dúvidas persistem, como a consideração da granulometria do fresado e o método de compactação em laboratório. Dessa forma, o objetivo do trabalho consiste em avaliar o efeito da granulometria e do tipo de compactação no comportamento resiliente de misturas recicladas com emulsão asfáltica. Foram estudadas duas misturas de fresado, agregados virgens e emulsão, considerando nas curvas granulométricas o agregado do fresado após a extração do ligante e sem a extração (*black rock*), ambas dentro da faixa granulométrica adequada. As misturas foram compactadas usando energia Proctor Modificada, com dois métodos: vibratório e dinâmico (soquete). Após a compactação, foram realizados ensaios triaxiais para determinação do módulo de resiliência, conforme o Método de Ensaio 134 (DNIT, 2018). Os resultados mostraram que a compactação dinâmica foi mais eficiente do que a vibratória, alcançando maior grau de compactação e, conseqüentemente, valores mais altos de módulo de resiliência. Também se verificou que há efeito na forma de consideração da granulometria do RAP, de modo que as amostras considerando o RAP sem extração do ligante asfáltico, ou seja, *black rock*, apresentaram melhores resultados, comportamento que pode estar relacionado à densificação da mistura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem de pavimentos; BSM; Módulo de resiliência; Compactação; Granulometria

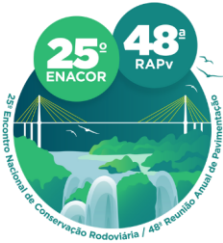
#### ABSTRACT

Asphalt recycling reuses pavement materials to construct new layers. One technique involves using milled asphalt, also known as *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), obtained by removing the deteriorated asphalt layer and incorporating it as an aggregate in the base or sub-base layers. This process has been growing in Brazil due to its technical, economic, and environmental advantages. However, some doubts persist, such as considering the gradation of the RAP and the laboratory compaction method. In this way, the objective of this study is to evaluate the effect of gradation and compaction type on the resilient behavior of recycled mixtures with asphalt emulsion. Two mixtures of RAP, virgin aggregates, and emulsion were studied, considering the difference in gradation of the RAP, all within the appropriate gradation range. The mixtures were compacted using Modified Proctor energy, with two methods: vibratory and dynamic (rammer). After compaction, triaxial resilience modulus tests were conducted following Test Method 134 (DNIT, 2018). The results showed that dynamic compaction was more efficient than vibratory compaction, achieving a higher degree of compaction and consequently higher values of resilience modulus. It was also observed that the consideration of RAP gradation had an effect, with samples considering RAP without asphalt binder extraction (*black rock*) showing better results, which may be related to the mixture density.

**KEY WORDS:** Pavement recycling; BSM; Resilience modulus; Compaction; Gradation.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, e-mail: [katlinmodestodorneles@gmail.com](mailto:katlinmodestodorneles@gmail.com); [czamanskimeireles@hotmail.com.br](mailto:czamanskimeireles@hotmail.com.br); [leonardo.lunkes@ufrgs.br](mailto:leonardo.lunkes@ufrgs.br); [thais.kleinert@ufrgs.br](mailto:thais.kleinert@ufrgs.br); [lelio.brito@ufrgs.br](mailto:lelio.brito@ufrgs.br); [washington.nunez@ufrgs.br](mailto:washington.nunez@ufrgs.br);

<sup>2</sup> Grupo Ecorodovias, e-mail: [claudio.dias@ecorodovias.com.br](mailto:claudio.dias@ecorodovias.com.br)



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

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

A crescente conscientização ambiental e a busca por redução de custos em projetos têm impulsionado pesquisas e o desenvolvimento de novos materiais no contexto do reaproveitamento de materiais. A reciclagem de pavimento não é uma técnica nova. No entanto, técnicas de recuperação estrutural, considerando a reincorporação do fresado asfáltico (RAP - *reclaimed asphalt pavement*), a adição de agregados virgens e a estabilização com emulsão, ainda carece de estudos e compreensão.

A reciclagem de pavimentos é uma técnica de reabilitação de rodovias que visa reutilizar materiais envelhecidos, incorporando-os em novas misturas, com ou sem o uso de agentes rejuvenescedores, agregados para correção granulométrica e aditivos como cimento, cal ou outros produtos químicos (BERNUCCI et al., 2022; FEDRIGO, 2015). A utilização desses materiais tem sido cada vez mais demandada devido à sua versatilidade em termos de características mecânicas. No entanto, existe uma escassez de normas e análises que investiguem o comportamento do material, especialmente em relação aos diferentes tipos de granulometria e o comportamento resiliente do material.

Manuais para obtenção de parâmetros e dosagem como TG2 (SABITA, 2020), Reciclagem à Frio (WIRTGEN GROUP, 2012), dosagem FDR - *Full Depth Reclamation* (ARRA, 2018), já trazem diversos conceitos para a utilização de materiais estabilizados com emulsão. Entretanto, deve haver uma maior compreensão do comportamento resiliente desses materiais, uma vez que o módulo de resiliência (MR) é um dos parâmetros para dimensionamento pelo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) e não é considerado em nenhum dos manuais anteriormente citados.

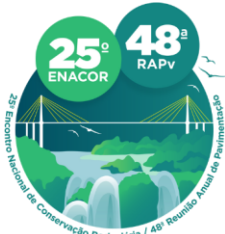
Desta forma, o presente trabalho buscou avaliar o comportamento resiliente de materiais reciclados, oriundos de misturas RAP mais agregados virgens, estabilizados com emulsão asfáltica, com duas considerações de granulometria e dois métodos de compactação.

## MATERIAIS ESTABILIZADOS COM EMULSÃO

Os materiais estabilizados com emulsão fazem parte dos *Bitumen Stabilization Materials* (BSM), ou seja, materiais estabilizados com emulsão. Os BSM são amplamente utilizados em projetos de reabilitação de pavimentos, especialmente quando o desgaste na estrutura do pavimento existente está limitado às camadas superiores (SABITA, 2020; WIRTGEN GROUP, 2012). Assim, a maioria dos projetos de BSM realizados nas últimas duas décadas têm se concentrado na reabilitação e modernização de pavimentos, envolvendo a reciclagem do material *in situ* para reforço e/ou alargamento.

Atualmente, a reciclagem à frio em profundidade total de pavimentos asfálticos antigos usando cimento e emulsão asfáltica é uma das tecnologias de reciclagem mais populares, pois é bastante rápida e relativamente barata, com uso fortemente reduzido de novos materiais (DOLZYCKI; JACZEWSKI; SZYDLOWSKI, 2017). Observa-se que, embora seja uma mistura estabilizada, ainda são identificadas características remanescentes do material granular original, pois a emulsão envolve predominantemente as partículas finas, enquanto as partículas maiores não são revestidas completamente, resultando em uma mistura com emulsão não contínua. Consequentemente, a estabilização com emulsão melhora a sensibilidade à umidade do material original e, diferentemente de outras técnicas de estabilização, não é propensa a apresentar falhas de trincamento por fadiga.

A inclusão de um fíler ativo, como cal ou cimento Portland, é frequentemente empregada nas misturas estabilizadas com emulsão. Quando o fíler selecionado é o cimento Portland, este material é limitado em 1%, pois quando adicionado em quantidades maiores, o material se torna frágil, perdendo a propriedade flexível (SABITA, 2020). Ainda assim, é importante a adição do fíler, uma vez que



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

www.rapvenacor.com.br



durante o processo de cura, o cimento Portland reage com a água presente tanto na emulsão quanto adicionado à mistura, colaborando para a quebra da emulsão. Com baixa dosagem de cimento, os produtos de hidratação se dispersam no interior dos filmes de emulsão frescos, aumentando a viscosidade da mistura e melhorando a resistência à deformação permanente (GRAZIANI et al., 2016). A quantidade de cimento deve ser limitada para evitar a diminuição da flexibilidade das misturas (YAN et al., 2017). Materiais estabilizados com emulsão são materiais ligados de forma não contínua, de modo que o comportamento do BSM é semelhante ao de materiais granulares não ligados, contudo apresentam uma coesão melhorada e uma reduzida sensibilidade à umidade (WIRTGEN GROUP, 2012).

A Figura 1 apresenta o comportamento dos materiais estabilizados com emulsão, frente aos demais materiais utilizados na pavimentação. Observa-se que ele apresenta um comportamento intermediário, mesmo contendo cimento e emulsão.

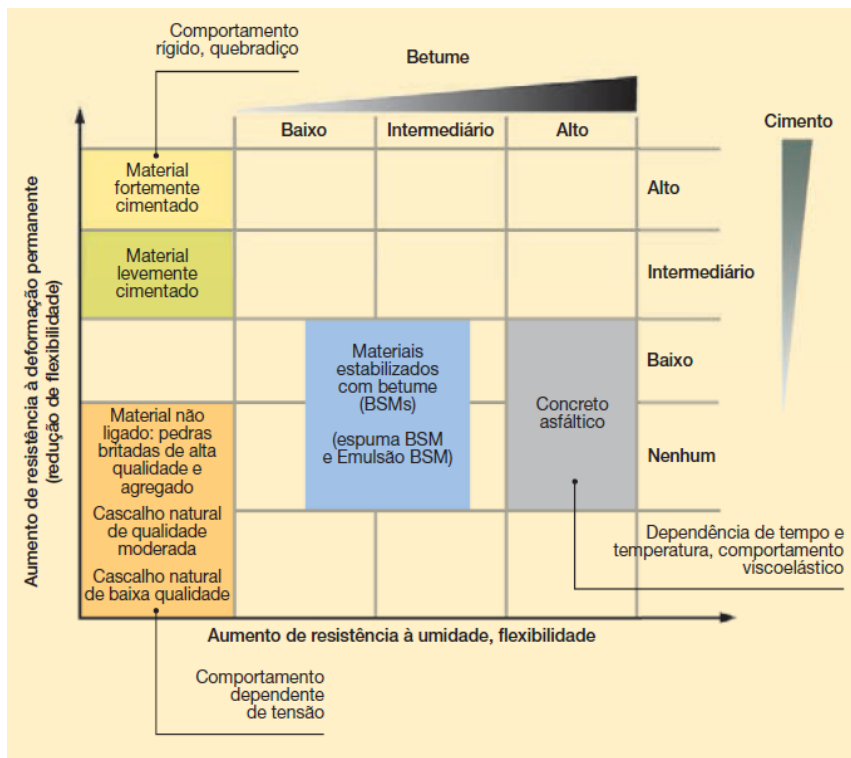
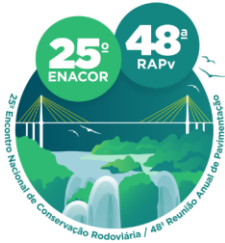


Figura 1: Posicionamento do BSM frente aos demais materiais de pavimentação (WIRTGEN GROUP, 2012)

O sucesso na utilização deste material depende do estudo e seleção de cada componente que será utilizado - o agregado virgem, material fresado, emulsão e fíler. Existem diferentes tipos de emulsões disponíveis, tais como as de ruptura rápida, média ou lenta, e a escolha adequada depende de fatores como as condições climáticas, o tipo de agregado utilizado e a condição do pavimento em questão. Ao optar pela emulsão asfáltica apropriada, é possível estabelecer uma sólida ligação entre os materiais reciclados e a nova camada de revestimento, resultando em um pavimento de alta resistência e durabilidade.

A utilização de materiais estabilizados com emulsão está estreitamente associada à reciclagem de pavimentos. Ou seja, consegue-se obter um material com características interessantes no ponto de vista de comportamento de materiais de pavimentação e reintroduzir o RAP em misturas, sem a



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

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



necessidade de uma mistura a quente. O RAP é obtido por meio da fresagem a frio ou quente da remoção da camada asfáltica desgastada, de forma parcial ou totalmente (NIVEDYA; RAVINDRAN; MURALI KRISHNAN, 2016). Quando o material fresado é misturado com espuma asfáltica ou emulsão e materiais pétreos, o material obtido é conhecido como BSM (SABITA, 2020). No entanto, ainda existem lacunas na consideração da granulometria ao utilizar o RAP. Algumas agências levam em conta a contribuição do ligante envelhecido presente no RAP, mas a maioria delas trata o RAP de forma semelhante a um agregado natural ou pedra britada, ou seja, o ligante presente no material RAP é considerado inerte devido às baixas temperaturas de produção (MONDAL; KUNA, 2022).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação do comportamento resiliente dos materiais BSM, realizou-se a compactação de dois corpos de prova (CP's) para duas granulometrias distintas e duas formas de compactação, totalizando 8 corpos de prova. A Figura 2 apresenta as formas de compactação empregadas neste trabalho, sendo que foram utilizados o martelo vibratório de 23 J, como especificado no TG2 (SABITA, 2020), e o soquete Proctor de 4,54 kg.



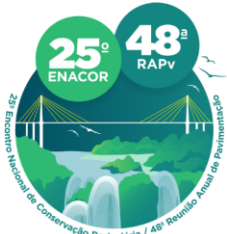
a) Martelo vibratório



b) Soquete manual

Figura 2: Equipamentos utilizados para compactação das amostras

O primeiro conjunto de corpos de prova utilizou uma dosagem composta por RAP, brita 1 ½", brita ¾" e cimento. Essa configuração será denominada Projeto 1. Salienta-se que a granulometria do RAP foi considerada após a extração do ligante e que a taxa de cimento foi limitada a 1%. A densidade obtida no ensaio de compactação, na energia Proctor modificada, foi de 1,850 g/cm<sup>3</sup> e um teor de umidade de 4,8%. Para esse projeto, realizou-se a compactação com martelo vibratório de 23 J. Para o Projeto 2, foram utilizadas as mesmas composições do Projeto 1, contudo, os corpos de prova foram compactados manualmente com soquete, conforme o método de ensaio 134 (DNIT, 2018). A



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

www.rapvenacor.com.br



Figura 3 apresenta fotos da mistura correspondente aos Projetos 1 e 2; de um CP antes da realização do ensaio triaxial, corresponde ao Projeto 1; e o ensaio de MR triaxial ocorrendo.

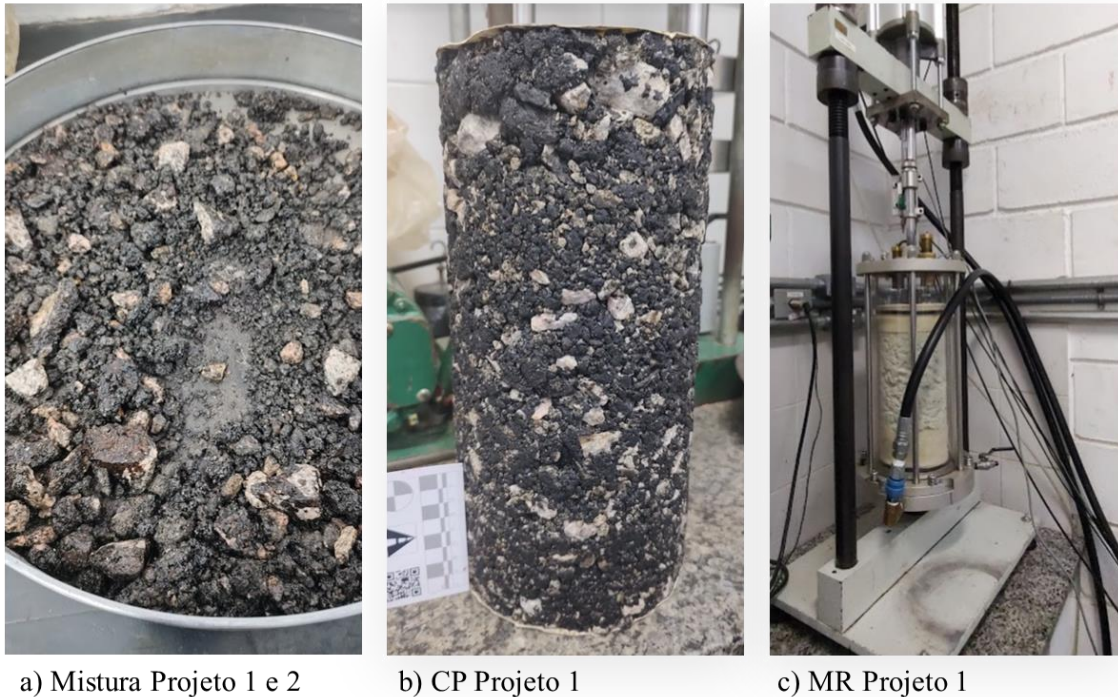


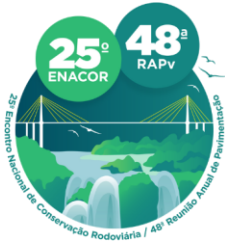
Figura 3: Misturas Projetos 1 e 2; CP Projeto 1; ensaio em andamento

O Projeto 3 considerou uma dosagem composta por RAP, brita 1 ½”, pó de pedra e cimento. Diferentemente do Projeto 1, o Projeto 3 considerou o RAP como sendo um *black rock*, ou seja, granulometria sem a extração do ligante asfáltico, e a taxa de cimento também foi limitada a 1%. A densidade obtida no ensaio de compactação na energia Proctor modificada, foi de 2,069 g/cm<sup>3</sup> e o teor de umidade ótimo de 7,9%. A compactação dos corpos de prova foi realizada com martelo vibratório de 23 J. Para o Projeto 4, utilizou-se a mesma composição do Projeto 3, contudo, os corpos de prova foram compactados manualmente com o soquete.

A Figura 4 apresenta as imagens da mistura dos Projetos 3 e 4; bem como um corpo de prova antes do ensaio, correspondente a um CP do Projeto 3; e a execução dos ensaios de MR triaxial.

Para todos os casos, definiu-se o teor de 2% de emulsão residual do tipo RM-2C, que é uma emulsão de ruptura média. Para melhor compreensão dos dados, a Tabela 1 resume os métodos de compactação e granulometria do RAP utilizados em cada projeto, de modo a informar a codificação adotada neste trabalho para melhor identificação.

Para análise do módulo de resiliência triaxial, foi necessária a compactação de corpos de prova com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, sendo cada corpo de prova compactado em 10 camadas, conforme determina o método de ensaio 134 (DNIT, 2018). Devido ao material analisado, ser estabilizado com emulsão, realizou-se um procedimento de cura, de modo a proporcionar o correto rompimento da emulsão, adaptando o preconizado pelo TG2 (SABITA, 2020), indicado para compactação de corpos de prova para ensaios triaxiais monotônicos. Após a compactação, os corpos de prova permaneceram dentro dos moldes durante a noite, cobertos com um pano úmido; sendo que na manhã seguinte, eles foram removidos dos seus respectivos moldes e identificados.



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

www.rapvenacor.com.br

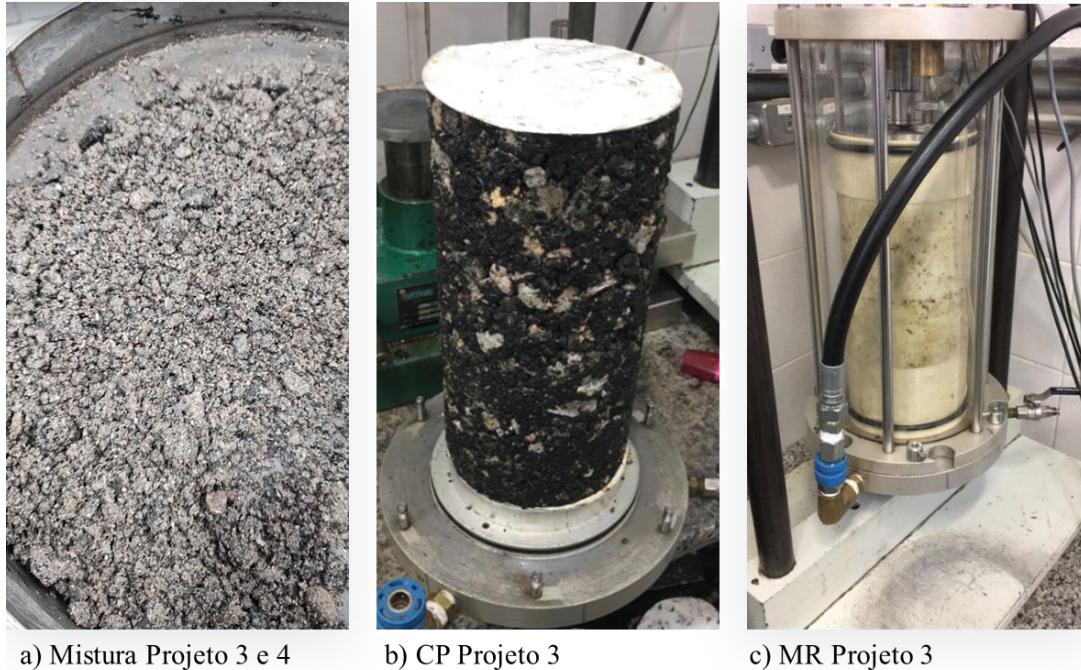


Figura 4: Mistura Projetos 3 e 4; CP Projeto 3; ensaio em andamento

Tabela 1: Codificação adotada para cada projeto

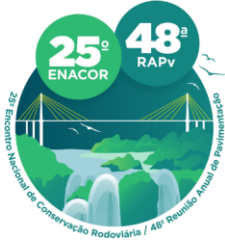
| Projeto | Granulometria do RAP | Tipo de compactação | Codificação adotada |
|---------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 1       | com extração         | vibratória          | c_ext_vib           |
| 2       | com extração         | dinâmica            | c_ext_din           |
| 3       | sem extração         | vibratória          | s_ext_vib           |
| 4       | sem extração         | dinâmica            | s_ext_din           |

Os CP's foram então colocados em estufa a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) por 8 horas. Finalizado o período, eles foram removidos da estufa, envolvidos por um saco plástico e selados; e novamente colocados na estufa. Após 48 horas eles foram removidos da estufa, sendo realizada a troca do saco por um seco, e permaneceram esfriando a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) por um período mínimo de resfriamento de 12 horas. Destaca-se que as amostras só foram removidas de seus sacos plásticos e pesadas imediatamente antes do ensaio.

Assim, realizou-se o ensaio de módulo de resiliência triaxial conforme o método de ensaio 134 (DNIT, 2018), com 1500 ciclos de condicionamento e os demais ciclos com os 18 pares de tensões estabelecidos na norma.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado de cada ensaio triaxial de cargas repetidas têm-se 18 valores de módulo de resiliência, associados aos pares de tensões aplicados (tensão confinante e desvio). Ao ensaiar dois corpos de



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

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



prova por projeto, têm-se 36 valores de MR. Dessa forma, se considerou mais representativo trabalhar com modelos que incluíssem todos os resultados de MR para cada projeto.

Ao se aplicarem os dados nos diferentes modelos (em função das tensões confinante, desvio e octaédrica), observou-se que o modelo composto (Equação 1) foi o mais significativo estatisticamente. Isso significa que o módulo de resiliência das misturas ensaiadas é influenciado pelas tensões confinante e desvio simultaneamente.

$$MR = k_1 \times \sigma_3^{k_2} \times \sigma_d^{k_3} \quad (1)$$

Onde:

MR – módulo de resiliência, em MPa;

$\sigma_3$  – tensão confinante, em MPa;

$\sigma_d$  – tensão desvio, em MPa.

Uma vez que a representação gráfica é dificultada em decorrência da necessidade de utilizar gráficos em três dimensões, optou-se por apresentá-los no formato de caixa estreita, mais conhecido como *boxplot*. Os resultados obtidos para as quatro misturas ensaiadas são apresentados na Figura 5.

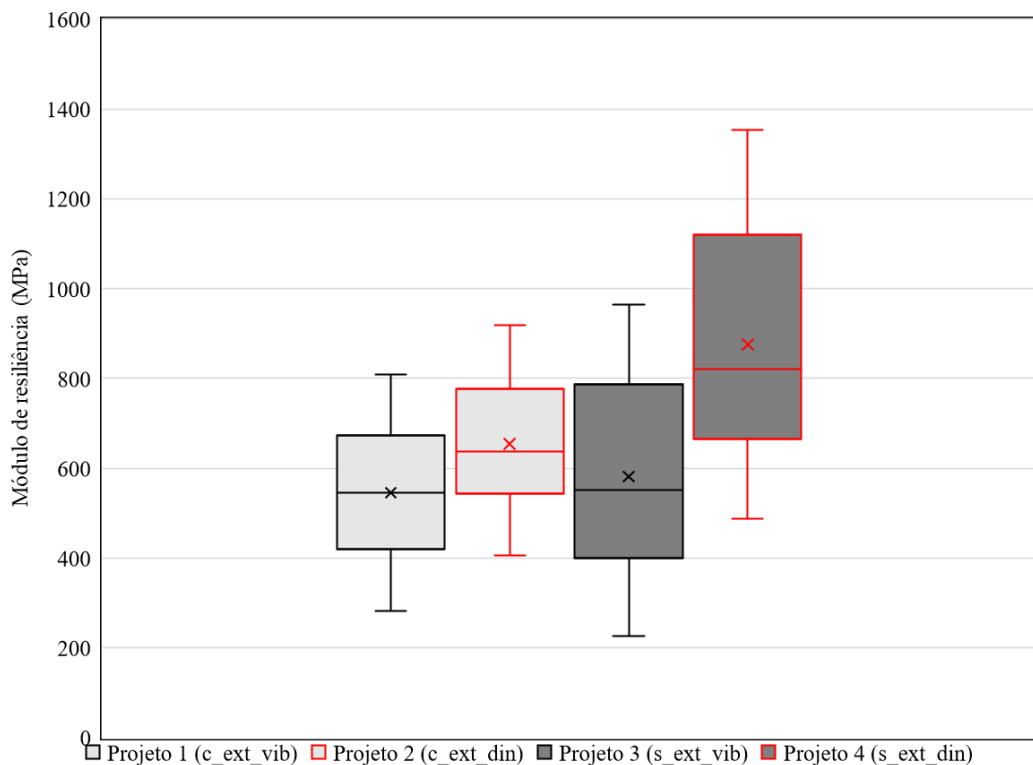
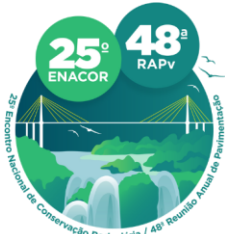


Figura 5: Variação dos módulos de resiliência obtidos para os pares de tensão dos ensaios triaxiais de cargas repetidas considerando as amostras dos projetos estudados



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

www.rapvenacor.com.br



Os valores mínimo e máximo de cada resultado representam os limites inferiores e superiores, respectivamente, desconsiderando quaisquer valores atípicos (*outliers*). Entre esses limites e os extremos da caixa estão localizados 25% dos dados obtidos, correspondendo a 50% dos valores que se encontram fora da caixa. O limite inferior é conhecido como primeiro quartil, enquanto o limite superior é denominado terceiro quartil. Os outros 50% dos valores obtidos estão dentro da caixa, sendo a mediana (ou segundo quartil) representada por uma linha horizontal e a média pelo marcador. A Figura 5 traz várias informações acerca dos resultados obtidos, pois além de entender como se dá a variabilidade dos valores de MR para cada projeto, se consegue comparar os resultados obtidos. A primeira consideração a ser feita é que é possível identificar um incremento nos valores de MR quando se realiza a compactação com o uso de soquete (dinâmica) em relação à compactação vibratória. Tal comportamento pode ter ocorrido em função do grau de compactação (GC) alcançado, uma vez que as amostras compactadas de forma dinâmica alcançaram GC superior a 100% e aquelas compactadas por vibração apresentaram GC próximos a 96%. Ou seja, acredita-se que a diferença nos resultados está mais relacionada com a densificação do que com o método de compactação propriamente dito.

Outro aspecto que pode ser observado no gráfico da Figura 5 é que as amostras consideradas como *black rock*, ou seja, granulometria sem extração do ligante também apresentaram melhores resultados do que aquelas consideradas após a extração do ligante. Neste caso, é importante ressaltar que há uma diferença expressiva nos teores de umidade ótimo, bem como na densidade de projeto. As amostras denominadas aqui por *black rock* (Projetos 3 e 4) foram moldadas com 7,9% de umidade, enquanto as demais (Projetos 1 e 2) com 4,8%. Essa diferença pode ter ocasionado uma redução na lubrificação e conseqüentemente maior atrito entre as partículas e dificuldade na compactação. Com relação à densidade, as amostras dos Projetos 3 e 4 (2,069 g/cm<sup>3</sup>) apresentaram maiores valores em comparação às amostras dos Projetos 1 e 2 (1,850 g/cm<sup>3</sup>), devido a essa se tratar de uma graduação mais aberta, por não levar pó de pedra em sua composição. Pontos esses que influenciaram nos resultados, demonstrando que o Projeto 4 apresenta o melhor comportamento resiliente dentre os estudados. De forma geral, o Projeto 4 apresentou os maiores valores de MR.

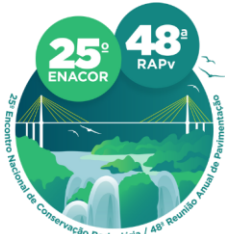
Os parâmetros do modelo composto dos projetos estudados, assim como os parâmetros de confiabilidade são apresentados na Tabela 2. Lembra-se que a forma geral do modelo composto foi apresentada na Equação 1.

Tabela 2: Parâmetros do modelo composto de MR e de confiabilidade dos projetos estudados

| Projeto | Características | k <sub>1</sub> | k <sub>2</sub> | k <sub>3</sub> | R <sup>2</sup> |
|---------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1       | c_ext_vib       | 1791           | 0,40           | 0,03           | 0,95           |
| 2       | c_ext_din       | 1750           | 0,34           | 0,02           | 0,92           |
| 3       | s_ext_vib       | 2726           | 0,47           | 0,13           | 0,98           |
| 4       | s_ext_din       | 1793           | 0,32           | 0,02           | 1,00           |

O parâmetro k<sub>2</sub> explicita a dependência do MR frente à tensão confinante, sendo que todas as amostras apresentaram valores positivos de k<sub>2</sub>, evidenciando que o MR aumenta com o confinamento da mistura, como pode ser observado na Figura 6. Destaca-se que esse confinamento é devido ao acréscimo de tensões horizontais geradas pelo tráfego e, em muito menor grau, pelas tensões geostáticas, já que geralmente são muito baixas, pois as camadas de pavimentos não são espessas o suficiente para proporcionar um confinamento considerável.





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

www.rapvenacor.com.br



O parâmetro  $k_3$  está relacionado à tensão desvio, de modo que, como esperado, à medida que essa tensão aumenta, há aumento nos valores de MR das misturas. Porém, o efeito da tensão desvio é significativamente menor do que da tensão confinante, por isso optou-se por não representá-los graficamente. Ainda, na tabela 2 são apresentados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), sendo que o  $R^2$  é elevado para todos os projetos estudados, demonstrando a significância dos modelos.

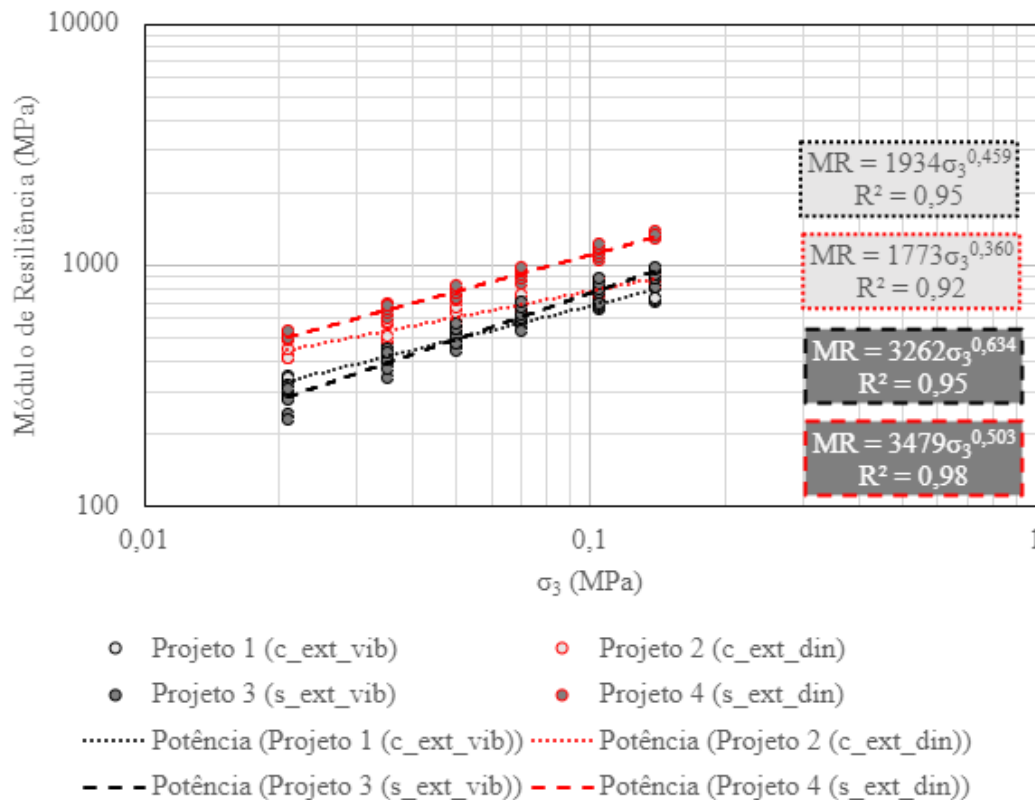
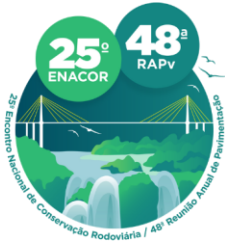


Figura 6: Representação gráfica e equações do modelo módulo de resiliência x tensão confinante

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudado o comportamento resiliente de 4 misturas de RAP, agregados virgens e emulsão asfáltica. Para verificar o efeito de como se considerar a granulometria do RAP, foram realizadas dosagens variando-se a forma de consideração, com ou sem a extração do ligante asfáltico. Além disso, foram estudados dois métodos de compactação das amostras, dinâmico (soquete) e vibratório. Isso resultou em 4 Projetos: Projeto 1 (com extração e compactação vibratória); Projeto 2 (com extração e compactação dinâmica); Projeto 3 (sem extração e compactação vibratória) e Projeto 4 (sem extração e compactação dinâmica).

Com base nos modelos verificados, observou-se que o modelo composto foi o mais significativo estatisticamente para representar o comportamento do módulo de resiliência das misturas ensaiadas, embora o modelo dependente da tensão confinante também tenha apresentado significância elevada. Isso indica que o módulo de resiliência desses materiais é influenciado pelas tensões confinante e desvio simultaneamente. Os parâmetros do modelo composto dos projetos estudados, como  $k_2$  e  $k_3$ , mostram a dependência do módulo de resiliência em relação à tensão confinante e desvio,



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

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



respectivamente. Todos os projetos apresentaram valores positivos de  $k_2$  e  $k_3$ , indicando que o MR aumenta com as variações de tensões da mistura.

Em relação aos valores de MR obtidos, observou-se que a compactação dinâmica resultou em um melhor comportamento resiliente das misturas, em comparação com a vibratória. Tal resultado pode estar relacionado ao maior grau de compactação alcançado com a compactação dinâmica. As amostras consideradas como *black rock*, ou seja, com granulometria sem a extração do ligante, apresentaram melhores resultados de MR do que aquelas consideradas após a extração do ligante. Essa diferença pode ser atribuída a variações nos teores de umidade ótimo e na densidade de projeto. Desta forma, o Projeto 4 foi o que apresentou o melhor comportamento resiliente entre os estudados, com os maiores valores de MR.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT, da Concessionária de Rodovias CCR ViaSul, sob regulação da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT. Estende-se os agradecimentos ao Programa Especial de Treinamento em Engenharia Rodoviária (PETER), ao Laboratório de Pavimentação (LAPAV) e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que oportunizaram a realização desta pesquisa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRA. Recommended Mix Design Guidelines For Full Depth Reclamation (FDR) Using Emulsified Asphalt Stabilizing Agent FDR201A. v. 60137, n. 630, 2018.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 2° ed. Rio de Janeiro: Petrobras, 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **NORMA DNIT 134/2018-ME- Pavimentação-Solos - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2018.

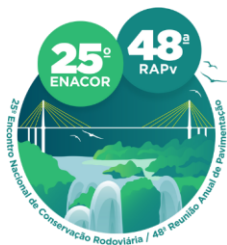
DOLZYCKI, B.; JACZEWSKI, M.; SZYDLOWSKI, C. The long-term properties of mineral-cement-emulsion mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 156, p. 799–808, 2017.

FEDRIGO, W. **RECICLAGEM DE PAVIMENTOS COM ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND: DEFINIÇÃO DAS BASES PARA UM MÉTODO DE DOSAGEM**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

GRAZIANI, A. et al. Effect of curing on the physical and mechanical properties of cold-recycled bituminous mixtures. **Materials and Design**, v. 95, p. 358–369, 2016.

MONDAL, P. G.; KUNA, K. K. Mix design considerations for foamed bitumen stabilized materials: A review. **Construction and Building Materials**, v. 326, n. February, p. 126783, 2022.

NIVEDYA, M. K.; RAVINDRAN, P.; MURALI KRISHNAN, J. Experimental investigations and constitutive modeling of bitumen stabilized mixtures. **International Journal of Engineering Science**, v. 102, p. 36–54, 1 maio 2016. SABITA. **Technical Guideline (TG2) : Bitumen Stabilised Materials Southern African Bitumen Association (Sabita)**. 3° ed. [s.l.: s.n.], 2020.



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

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



WIRTGEN GROUP. **Reciclagem a frio: Tecnologia de reciclagem a frio Wirtgen.** [s.l: s.n.]. 2012. Disponível em: <[www.wirtgen.com](http://www.wirtgen.com)>.

YAN, J. et al. Early-age strength and long-term performance of asphalt emulsion cold recycled mixes with various cement contents. **Construction and Building Materials**, v. 137, p. 153–159, 2017.