



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)

INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CIMENTO E EMULSÃO ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAÇÃO DE BASES GRANULARES

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

*Gabriela Fanck dos Santos¹; Gabriel Augusto Feyh²; Alana Devitte Fabris³; Chaveli Brondani⁴;
Jessica da Silva Vieira⁵; Tatiana Cureau Cervo⁶ & Luciano Pivoto Specht⁷*

RESUMO

A manutenção de pavimentos é essencial para garantir a segurança e a qualidade das vias, além de reduzir custos com futuras reconstruções. Por isso, é importante investir em tecnologias que prolonguem a vida útil dos pavimentos, como a utilização de materiais mais resistentes e técnicas de construção mais eficientes. O objetivo deste estudo é analisar a influência do cimento e da emulsão asfáltica para estabilização de bases granulares. Foram realizados ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS), Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) e Módulo de Resiliência (MR). Utilizou-se duas misturas, uma de referência (REF) e a outra com material fresado (FP), ambas enquadradas na faixa C do DNIT. Sendo assim, os teores de emulsão asfáltica (RL – 1C) definidos foram de 2% e 3% e o teor de cimento Portland (CP – IV32) foi de 1%. As curvas de compactação foram realizadas por meio de Proctor, na energia modificada e os corpos de prova moldados por meio do compactador Marshall. O período de cura foi de 28 dias. A partir dos resultados obtidos, identificou-se que o aumento no teor de emulsão trouxe melhorias nos parâmetros; misturas com agregados naturais alcançaram resultados de RCS e MR superiores àquelas com fresado, porém, na RT o comportamento é o contrário; uma densidade maior, não é garantia de melhor desempenho mecânico, devido a heterogeneidade das amostras. Acredita-se que essa possa ser uma boa alternativa técnica e econômica para destinar o material fresado.

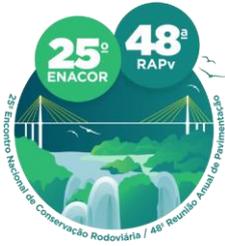
PALAVRAS-CHAVES: Emulsão asfáltica, Cimento Portland, Estabilização e Bases granulares.

ABSTRACT

Pavement maintenance is essential to guarantee the safety and quality of roads, in addition to reducing costs with future reconstructions. Therefore, it is important to invest in technologies that extend the useful life of pavements, such as the use of more resistant materials and more efficient construction techniques. The objective of this study is to analyze the influence of cement and asphalt emulsion for the stabilization of granular bases. Simple Compressive Strength, Diametral Compressive Tensile and Resilience Modulus tests were carried out. Two mixtures were used, one of reference and the other with Reclaimed Asphalt Pavement, both classified in range C of DNIT. Thus, the asphalt emulsion contents were defined as 2% and 3% and the Portland cement content (CP – IV32) was 1%. The compaction curves were performed using Proctor, at modified energy, and the specimens were molded using a Marshall compactor. The curing period was 28 days. From the obtained results, it was identified that the increase in the emulsion content brought improvements in the parameters; mixtures with natural aggregates achieved higher RCS and MR results than those with milled aggregates, however, in RT the behavior is the opposite; a higher density is not a guarantee of better mechanical performance, due to the heterogeneity of the samples. It is believed that this could be a good technical and economical alternative to allocate the milled material.

KEY WORDS: Asphalt Emulsion, Portland Cement, Stabilization and Granular bases.

^{1,2,3,4,5,6 e 7} Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Santa Maria.
gabifanck@gmail.com, gabriel.feyh@gmail.com, fabris.alana@acad.ufsm.br, chavelib@gmail.com,
vieirajessica.jv96@gmail.com, tatiana.cervo@gmail.com e luspecht@gmail.com



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

O custo da implantação de rodovias é alto e os materiais convencionais utilizados são os principais responsáveis pelo valor total do projeto. Portanto, há a necessidade de buscar continuamente alternativas sustentáveis, tecnologias inovadoras, bem como economicamente justificadas e que funcionem de forma semelhante, ou melhor.

Com milhares de quilômetros de pavimentos necessitando de manutenção ou reparos, vários pesquisadores do Brasil empregaram técnicas para utilização dos resíduos, com o próprio material fresado, produzido em grande quantidade na manutenção de pavimentos. Nesse sentido, é interessante o avanço na destinação dos resíduos gerados para restauração de pavimentos nos diversos projetos e obras futuramente realizados em nosso país.

Há certa dificuldade em encontrar jazidas com materiais de boa qualidade para executar as camadas de base e sub-base em rodovias, principalmente quando os materiais não atendem as especificações para estabilização granulométrica das camadas de pavimentos. Esse problema pode ser solucionado por meio de misturas de novos materiais utilizados como camadas dos pavimentos, sendo o material fresado uma alternativa. Entretanto, torna-se necessário encontrar formas de reutilizar esses materiais, de maneira sustentável e viável na aplicação.

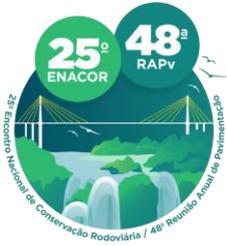
Estudos indicam que para o aumento da resistência da estrutura do pavimento, pode-se optar por adicionar estabilizadores, tendendo a esse ganho. Com isso, a reciclagem de pavimentos com adição de estabilizadores, tais como cal, cimento, emulsão asfáltica e espuma de asfalto, aparecem como possíveis alternativas (JORGE, 2014). Os pavimentos rodoviários construídos com um material estabilizado na camada de base são duráveis e sustentáveis, atendendo às diretrizes ambientais para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases (COLLINGS et al., 2020).

Nos últimos anos, a necessidade de reutilizar materiais na preservação, manutenção e reconstrução de pavimentos é amplamente avaliada para alcançar soluções mais ecológicas. Foram constatadas que as características mecânicas dos pavimentos não são prejudicadas com a utilização dos fresados, podendo ser reciclados e reutilizados em aplicações de pavimentação, levando a proteção do meio ambiente, reduzindo o acúmulo de aterros, economizando matérias-primas extraídas do meio ambiente e consumindo menos energia no processo de mistura e transporte de materiais virgens (CHEN E WANG, 2018). Diversas pesquisas mostram que os materiais reciclados provenientes da fresagem de camadas asfálticas podem ser usados como agregado reciclado em bases e sub-bases de pavimentos (GIANI et al., 2015; LI et al., 2019).

Os tipos de misturas asfálticas que podem ser construídas por meio da fresagem incluem as misturas recicladas a frio, representam uma das tecnologias de reabilitação de pavimentos que mais cresce, principalmente por sua relação custo-benefício e velocidade de produção. Dessa forma, a reciclagem em temperatura ambiente, pode minimizar o impacto ambiental, o problema de descarte de resíduos e também reduzir os custos de transporte durante as atividades de manutenção e construção (MONTEPARA et al., 2012; ARSHAD E AHMED, 2017).

O comportamento mecânico nas misturas recicladas a frio tende a variar, pois depende de diversos fatores como processo de cura, tipo e granulometria do fresado utilizado, teor de umidade e teor dos agentes estabilizadores (XIAO et al., 2018). Sendo assim, seu comportamento mecânico é complexo e, portanto, são necessárias pesquisas para aprimorar o conhecimento sobre os materiais, bem como desenvolver processos para elaboração da dosagem adequada.

Para isso, existem diversos ensaios laboratoriais para avaliar o comportamento mecânico dessas misturas e posteriormente definir, com base em seus resultados, se as misturas são aptas para serem aplicadas em rodovias brasileiras. Dentre os ensaios possíveis de utilização há a Resistência a



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Compressão Simples (RCS), Resistência à tração por compressão diametral (RT) e o Módulo de Resiliência (MR).

Sendo assim, o presente trabalho visa comparar os principais aspectos de uma matriz natural, com agregados virgens e outra matriz reciclada, com o emprego de RAP e pó de pedra. Propõem-se a estabilização físico-química de ambas as matrizes com o emprego do ligante betuminoso (emulsão asfáltica) e o ligante hidráulico (cimento Portland).

A partir de tais distribuições e por meio dos ensaios laboratoriais citados a cima, espera-se atingir os objetivos, com abrangência nas propriedades necessárias de resistência e rigidez das misturas para emprego em camada de base de pavimentos.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Materiais utilizados e misturas

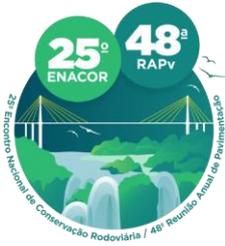
Os agregados naturais empregados nas misturas foram as britas 3/4" e 3/8" e o pó de pedra, provenientes da região central do Rio Grande do Sul, classificados como Riodacito de origem vulcânica. Esses mesmos agregados também foram utilizados por Silva (2018).

O material reciclado empregado na pesquisa é originário de um trecho fresado da RS – 400, situado entre os municípios de Candelária e Sobradinho, RS. De acordo com o DAER – RS, este revestimento possui em sua composição o CAP 50/70 e o teor de betume para este material foi obtido por Correa (2020) e ficou em 5,38%.

Buscou-se enquadrar as granulometrias dos materiais dentro da faixa C do DNIT – ES 141/2010, incorporando o pó de pedra para o enquadramento do RAP. A matriz granular das misturas recicladas permaneceu em 70% de material fresado e 30% de pó de pedra, percentual comumente utilizado por outras pesquisas (TANSKI, 2016; SILVA, 2018; ROLIM, 2020). Para as misturas com agregados naturais, os percentuais utilizados foram de 16% de brita 3/4", 24,50% de brita 3/8" e 59,50% de pó de pedra.

O cimento utilizado nas misturas foi o pozolânico, CP – IV 32. Justifica-se esta escolha por questões de logística e custo, pois essa tipologia possui ampla utilização na região central do estado do RS e a sua comercialização é de fácil acesso. Foi utilizada a mesma porcentagem de cimento em todas as misturas, sendo 1% em relação à massa seca dos agregados. Este teor de cimento é utilizado por ser uma mistura estabilizada e também porque não é recomendado o uso de mais de 1% quando misturado com emulsão asfáltica.

A emulsão asfáltica utilizada no estudo é denominada RL – 1C, descrita como catiônica, de ruptura lenta. Os teores de emulsão utilizados nas misturas foram 2% e 3% em relação à massa dos agregados. Para atender os objetivos da pesquisa, a Tabela 1 demonstra as porcentagens dos agentes químicos, nomenclaturas utilizadas e quantidade de amostra por mistura para os ensaios.



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



Tabela 1. Definição das misturas e quantidades de amostras (AUTORES, 2023)

Misturas	Nomenclatura	Cimento (%)	Emulsão (%)	Compactação	Ensaio	
					RCS	RT/MR
Referência (REF)	REF C1-E2	1	2	5	4	6
	REF C1-E3	1	3	5	4	6
70% fresado 30% pó de pedra (FP)	FP C1-E2	1	2	5	4	6
	FP C1-E3	1	3	5	4	6

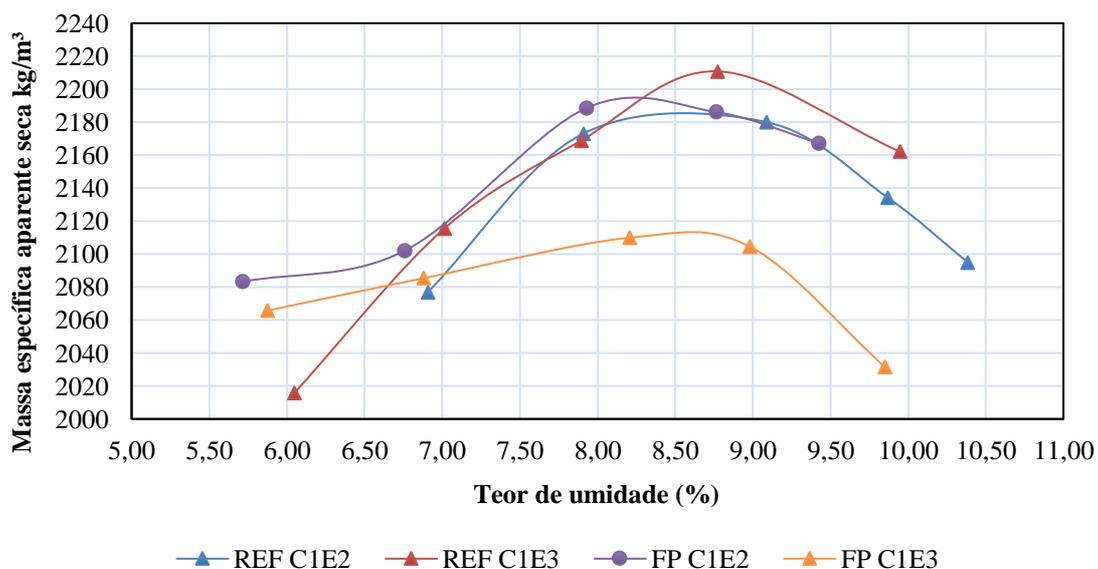
Com os materiais caracterizados iniciou-se o processo de dosagem das misturas asfálticas. A dosagem é a quantificação de água necessária para as misturas, de forma a garantir a sua umidade ótima de compactação para obtenção da maior massa específica aparente seca do material.

Curvas de compactação e umidades

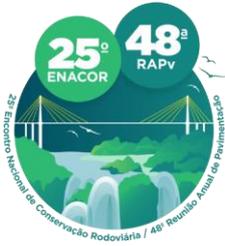
A norma utilizada para este ensaio foi a DNIT - ME 164/2013 (DNIT, 2013) e a energia de compactação foi a modificada. Para isso uma curva de compactação para cada mistura foi realizada, com cinco pontos diferentes de umidade. Tanski (2016) não considerou a água contida na emulsão para criar as curvas de compactação, por isso, seguiu-se o mesmo procedimento.

Este procedimento deu origem às curvas de compactação, com o teor de umidade (%) e a massa específica aparente seca (kg/m^3) para cada mistura, conforme Figura 1.

Figura 1. Curvas de compactação e umidades (AUTORES, 2023)



Após a realização deste processo, foi definido o teor de umidade ótima para cada mistura. Para a mistura REF C1E2 a umidade ficou em 8,70% e a densidade em 2.180 kg/m^3 e a mistura FP C1E2 obteve 8,25% de umidade e 2.195 kg/m^3 de densidade. Já para as demais misturas os resultados foram



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



de 8,75% e 8,70% de umidade e 2.210 kg/m^3 e 2.115 kg/m^3 , para REF C1E3 e FP C1E3, respectivamente. Destaca-se que ao elevar o teor de emulsão, o teor de umidade aumentou, mesmo comportamento observado por Tanski (2016). Contudo, a densidade obteve o mesmo comportamento apenas para as misturas de referência, já para as misturas com fresado a densidade decresceu com o aumento de emulsão.

Essa diferença nas densidades pode ser explicada pelos percentuais de emulsão em relação ao equilíbrio da hidratação do cimento. Outro ponto a ressaltar é a porosidade da rocha do agregado natural em comparação com o RAP e a quantidade de material miúdo existente.

Procedimentos de moldagem, cura dos corpos de prova e ensaios laboratoriais

Ao finalizar a etapa de dosagem inicial, foi possível realizar os cálculos de massa necessária para compor cada corpo de prova para os ensaios mecânicos. Os volumes foram definidos constantes para cada molde de ensaio, foram variadas as massas de acordo com cada mistura a fim de atingir a densidade, sendo ela o parâmetro para nortear a composição dos corpos de prova.

Para a moldagem das amostras a serem ensaiadas foi utilizada a betoneira, observando os seguintes passos: imprimação da betoneira, adição de agregados, adição do percentual de cimento, água necessária já calculada e, por fim, a emulsão asfáltica. Quatro minutos eram destinados à agitação da mistura, seguidos de um minuto de agitação após a adição da emulsão.

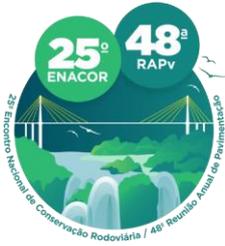
Devido a heterogeneidade no desempenho das misturas, adotou-se a confecção de betonadas por mistura, de acordo com cada ensaio individualmente. O intervalo de tempo entre o instante em que a umidade era adicionada à mistura até a finalização da moldagem, não foi superior a três horas e seguiu o descrito pela norma do DAER – ES 11/91 (DAER, 1991).

O soquete Marshall foi utilizado para a compactação das amostras, porém, o controle de golpes foi baseado na altura das amostras, ou seja, a compactação encerrou-se após todo o material da mistura estar inserido no molde. Para as amostras de RT/MR, com dimensões de $10 \times 6,50 \text{ cm}$, a compactação foi em camada única, com o compactador mecânico e com os 75 golpes por face propostos por norma. Para as amostras de RCS, com dimensões de $10 \times 20 \text{ cm}$, o suporte de moldagem Marshall foi adaptado para encaixe do molde destinado a elas. Neste caso, a compactação foi dividida em três camadas iguais, melhorando a distribuição dos agregados na amostra para que receba a mesma energia de compactação. Para essas montagens foram necessários a faixa de 40 a 50 golpes por camada, baseando-se na altura da amostra e compactação do volume para 1 corpo de prova.

Após a moldagem das amostras, deu-se início ao processo de cura de 28 dias, que foi realizado em duas fases, a primeira parte em estufa e o restante à temperatura ambiente. O critério definido para a cura das amostras seguiu as recomendações das normativas PP 86-20¹ (AASHTO, 2020) e DNER – ME 107 (DNER, 1994) para as misturas asfálticas recicladas à frio com emulsão asfáltica e parte da norma NBR 5738 (ABNT, 2016) para concretos. Optou-se pelo método de cura em estufa para melhor evaporação da água da emulsão e para facilitar a remoção das amostras dos moldes sem sua deformação, conforme testes iniciais realizados.

Portanto, nos corpos de prova com menores dimensões, a cura foi de 24 horas (iniciais) à 60°C , e, após esse período, as amostras foram desmoldadas e o processo de cura seguiu em sala fechada, com temperatura ambiente, até completarem os 28 dias de cura. Já nos corpos de prova de maiores dimensões, as amostras foram mantidas em estufa por 48 horas (iniciais) à 60°C e posteriormente curadas igualmente às demais. É importante ressaltar que todas as amostras foram devidamente identificadas, com suas medições aferidas (altura e diâmetro) e a pesagem realizada.

Os ensaios que norteiam o desenvolvimento da pesquisa são o de resistência à compressão simples (RCS), resistência à tração por compressão diametral (RT) e o módulo de resiliência (MR).



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

www.rapvenacor.com.br



Segundo Tanski (2016) e Silva (2018) não há especificações para o ensaio de RCS com material fresado, por isso, seguiu-se os procedimentos gerais descritos pela norma do DNER – ME 180 (DNER, 1994). Neste caso utilizou-se também a norma de BGTC, a NBR 11803 (ABNT, 2013). As medidas destes corpos de prova foram de 10 x 20 cm.

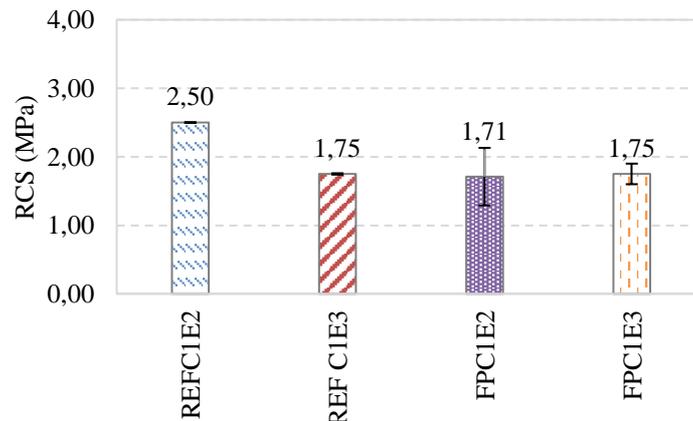
No ensaio de RT foi seguida a norma do DNIT – ME 136 (DNIT, 2018) referente aos corpos de prova cilíndricos de misturas betuminosas por meio de compressão diametral. Por fim, para o ensaio de MR foi empregada a norma do DNIT – ME 135 (DNIT, 2018) com a utilização da prensa dedicada a esse ensaio, a UTM – 25.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Resistência à compressão simples

O ensaio de RCS indica o comportamento da camada do pavimento relacionado ao cisalhamento, proporcionando um indicativo de deformação permanente (BALBO, 2007). A Figura 2 ilustra os resultados obtidos para as quatro misturas, aplicando o desvio padrão. Ressalta-se que para este ensaio foram moldados 4 corpos de prova por mistura.

Figura 2 – Resultados de RCS (MPa) médios para as misturas (AUTORES, 2023)

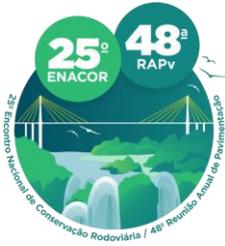


Os resultados de RCS encontrados exibem certa similaridade em todas as misturas, considerando que a mistura REF C1E2 apresentou resultado superior às FP C1E2, enquanto que as misturas REF C1E3 e FP C1E3 apresentaram o mesmo resultado.

Observando as mesmas misturas, diferindo os seus agregados (virgens e RAP), com os resultados acima abordados, a mistura REF C1E2 é 31,6% superior à mistura FP C1E2. Contudo, para as misturas REF C1E3 e FP C1E3 o resultado foi o mesmo e não apresentou diferenças entre elas. Sendo este, um aspecto positivo, pois demonstra que há possibilidade de economia na utilização de agregados provindos de jazida, utilizando o RAP, proporcionando a reutilização deste material.

De forma a comparar as misturas com os mesmos agregados e mesmo teor de cimento, onde se altera apenas o teor de emulsão, pode-se observar que houve um pequeno acréscimo na RCS nas misturas FP, enquanto que nas misturas REF obteve-se o comportamento contrário. Fator que pode ser explicado pela aderência e envolvimento da emulsão combinada com o cimento nos agregados e no ligante envelhecido do RAP.

Em misturas recicladas na relação 70/30 ensaiadas por outros pesquisadores, a RCS obtida variou de 2,15 à 3,52 MPa (PIRES, RENZ E SPECHT, 2014; CONSOLI et al., 2018). Fedrigo (2015) encontrou



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



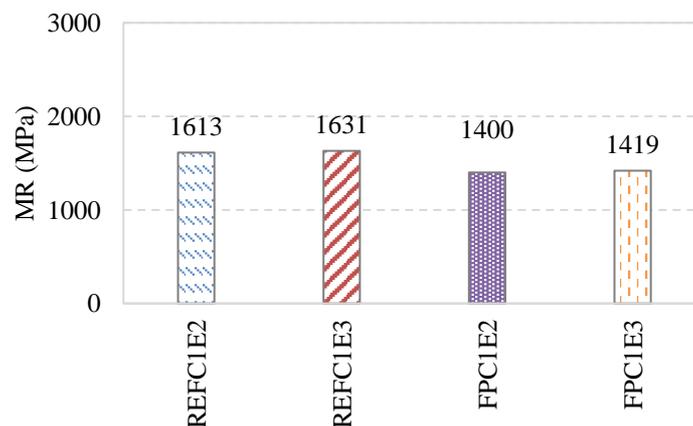
resultados que permaneceram entre 1,90 e 2,03 MPa, aos 7 dias de cura, utilizando o teor fixo de cimento em 4%.

No que tange o comportamento das amostras da presente pesquisa, observa-se que as misturas obtiveram resultados de 1,71 MPa, 1,75 MPa e 2,50 MPa para 28 dias de cura. Neste caso, apenas a mistura REF C1E2 se enquadrava com o obtido pelos autores supracitados. No caso dos resultados de Fedrigo (2015), tal diferença nos resultados justifica-se pela diferença no teor de cimento incorporado, que neste trabalho foi de 1%.

Módulo de resiliência e resistência à tração por compressão diametral

Para o ensaio de MR foram obtidos os resultados com a amostragem de 6 corpos de prova por mistura. Durante a execução deste ensaio, cada amostra ensaiada manteve-se dentro do coeficiente de variação. A Figura 3 ilustra os resultados obtidos para as seis misturas.

Figura 3 – Resultados de MR (MPa) médios para as misturas (AUTORES, 2023)



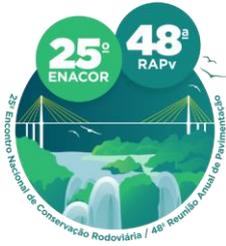
Os valores de módulo de resiliência muito elevados indicam uma maior rigidez das misturas. Nas misturas com agregados naturais, os valores de MR foram mais altos em comparação com as misturas com o fresado. Este comportamento pode ter relação com a heterogeneidade nas amostras de mesmas misturas. Tal comportamento também foi obtido por outros pesquisadores em seus estudos (SILVA, 2018; ROLIM, 2020), em misturas sem o uso da emulsão asfáltica.

É possível verificar que as misturas com material fresado apresentaram resultados decrescentes em todos os casos, quando comparados com as de referência. Quando foram consideradas apenas o tipo da mistura (natural ou reciclada), os decréscimos de MR da mistura REF C1E2 para FP C1E2 ficaram em 13,21%. Da mistura REF C1E3 para a FP C1E3, o decréscimo foi de aproximadamente 13%.

Tanski (2016) encontrou um resultado médio de 3098 MPa nas misturas que continham 2% de emulsão utilizando RAP, pó de pedra e 1% de cimento. Este resultado representa aproximadamente 50% acima do que o obtido nesta pesquisa. O mesmo autor também encontrou resultado de 1850 MPa para as mesmas misturas, porém com 3% de emulsão asfáltica, que, em comparação aos dados desta pesquisa, é o mais aproximado.

Por outro lado, Bessa *et al.* (2014) encontrou um MR de 1515 MPa, adicionando 2% de emulsão asfáltica, valor aproximado aos obtidos nesta pesquisa, mesmo elevando o teor de emulsão de 2% para 3% e alterando os agregados.

Após realizar o ensaio de MR, foram obtidos os resultados de RT, com os mesmos 6 corpos de prova. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para as seis misturas.



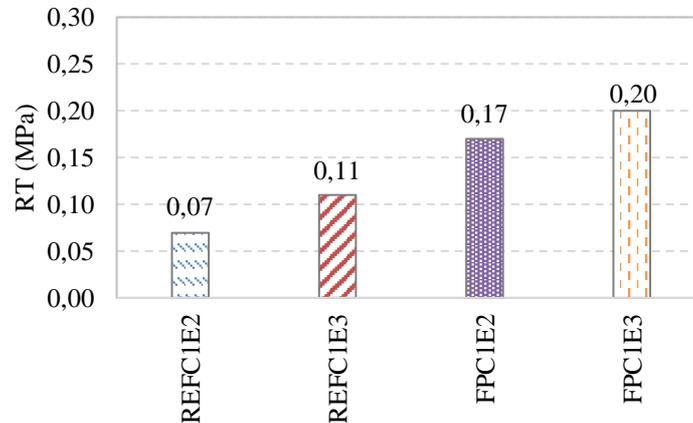
19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 4 – Resultados de RT (MPa) médios para as misturas (AUTORES, 2023)



Percebe-se, perante os resultados, um acréscimo de RT para as misturas que contém material fresado, independente do teor de emulsão e cimento inseridos. Como por exemplo, considerando apenas o tipo de mistura (naturais ou recicladas), observa-se o acréscimo de RT em 143% ao comparar a REF C1E2 com a FP C1E2. Na comparação da REF C1E3 com a FP C1E3 o acréscimo fica em 81,81%.

Fixando as variáveis: agregados e cimento, comparando as misturas apenas pela alteração da porcentagem de emulsão, também se pode observar o crescimento da RT ao elevar o teor de 2% para 3%. A justificativa para estes comportamentos pode estar relacionada com o MR, pois misturas menos rígidas devem resistir melhor à tração, e, nesse caso, o ligante entra em ação modificando o comportamento da mistura.

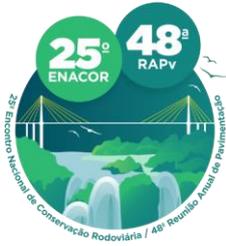
Em misturas recicladas a frio com teores variados de emulsão, por meio de compactação Marshall, os autores Lee, Kim e Han (2009) obtiveram valores de RT na faixa de 0,13 e 0,20 MPa. A Wirtgen (2012) orienta que a RT mínima deve ser de 0,225 MPa para essas misturas. Em contrapartida, Collings *et al.* (2020) descreve o mínimo de 0,175 MPa.

Sendo assim, foi possível perceber com os resultados obtidos que as misturas não alcançaram a resistência mínima indicada pela Wirtgen (2012), contudo, a mistura FP C1E3 se enquadrou ao mínimo descrito por Collings *et al.* (2020) e a mistura FP C1E2 ficou bem próxima a esse mínimo. As misturas com o fresado também se encontram próximas aos resultados obtidos por Lee, Kim e Han (2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da metodologia utilizada na pesquisa, foi possível observar que, com o aumento do teor de emulsão, no ensaio de resistência a compressão simples, as misturas de referência tiveram um aumento nos valores de RCS em relação às recicladas. Porém, aquelas misturas com 3% de emulsão asfáltica, não apresentaram diferença no resultado, sendo este um aspecto positivo frente à economia na utilização de agregados naturais virgens e reaproveitamento de asfalto reciclado. Dessa forma, existem ganhos frente ao aspecto ambiental do projeto das estruturas de pavimento que lançarem mão desta tecnologia.

Diante dos resultados de módulo de resiliência, as misturas com agregados naturais apresentaram os valores de MR mais altos em comparação com as misturas com o fresado. Entretanto, os resultados de resistência à tração por compressão diametral apresentaram comportamento condizente com tais misturas. Comportamentos estes que podem ser diretamente relacionados ao MR, pois misturas



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



menos rígidas devem resistir melhor à tração, e, nesse caso, o ligante do RAP pode ter interagido com a emulsão asfáltica, propiciando tal resultado no ensaio.

Em conformidade com o apresentado, sob a finalidade de reduzir o descarte inadequado do material fresado e diminuir a extração de recursos naturais afirma-se que, a combinação das misturas estabilizadas com cimento e emulsão asfáltica, podem ser uma boa alternativa. Entretanto, os métodos utilizados para misturas asfálticas recicladas, estabilizadas com cimento e emulsão asfáltica precisam ser aprimorados e mais amplamente estudados. Ademais, há outros parâmetros que devem ser observados, a partir disso sugere-se o desenvolvimento e incentivo ainda mais expressivo de pesquisas que possam avaliar, por exemplo, o tipo de emulsão, tipo de cimento, a interação entre os componentes da mistura, a dosagem, a composição granulométrica, a compactação e as formas de cura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (2020). PP 86-201: Standard practice for emulsified asphalt content of Cold Recycled Mixtures Designs. Washington, D. C.

Arshad, M; Ahmed, M.F. (2017). Potential use of reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate in base/subbase layers of flexible pavements. *Construction and Building Materials*. Volume 151, 2017, Pages 83-97.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2016). NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, RJ, 9p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2013). NBR 11803: Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 3p.

Back, A. H. (2022). Estudo do comportamento à fadiga de misturas cimentadas do tipo bgtc utilizando duas rochas extrusivas representativas do estado do RS. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, RS.

Balbo, J.T. (2007). *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos. 558 p.

Bessa, I.S.; Aranha, A.L.; Vasconcelos, K.L.; Bernucci, L.L.B.; Silva, A.H.M.; Chaves, J.M. (2014). Caracterização mecânica de misturas asfálticas recicladas a frio. In: 21º Encontro de Asfalto. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP, 2014, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: IBP.

Chen, X., Wang, H., (2018). Life cycle assessment of asphalt pavement recycling for greenhouse gas emission with temporal aspect. *J. Clean. Prod.* 187, 148–157. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.207>>

Collings, D.C.; Hefer A.W.; Jenkins, K.J.; Johns, F.M. (2020). *Technical Guideline TG2: Bitumen Stabilised Materials – A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials*. 3. ed. Publicado por South Africa: Southern African Bitumen Association, Sabita, 221 p.

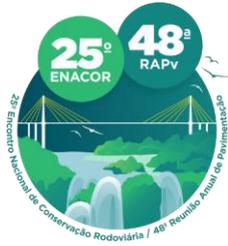
Consoli, N.C., Pasche, E., Specht, L.P., Tanski, M (2018). Key parameters controlling dynamic modulus of crushed reclaimed asphalt paving-powered rock - Portland cement blends. *Journal of Road Materials and Pavement Design*, v. 19, p. 1716-1733.

Correa, B. M (2020). Análise de rigidez e danificação de misturas asfálticas recicladas a quente com diferentes tipos e teores de RAP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

David, D. (2006). Misturas asfálticas recicladas a frio: Estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem - DAER (1991). DAER 11: Especificações gerais pavimentação - Base tratada com cimento.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1994). DNER 107: Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica - ensaio Marshall - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RS, 9p.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1994). DNER 180: Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada - Determinação da resistência à compressão simples - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RS, 11p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT (2018). DNIT 135: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 13p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT (2018). DNIT 136: Pavimentação asfáltica - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 9p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT (2010). DNIT 141: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ, 9p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT (2013). DNIT 164: Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas - Método de ensaio., Rio de Janeiro, RJ, 7p.

Fedrigo, W. (2015). Efeito da energia de compactação e do teor de fresado no comportamento mecânico de misturas recicladas com cimento. In: Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, GEORS, 8. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - ABMS, Núcleo Rio Grande do Sul, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS.

Giani, M.I., Dotelli, G., Brandini, N., Zampori, L., (2015). Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling. Resour. Conserv. Recycl. <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.006>>

Lee, H.D.; Kim, Y.T.; Han, B.T. (2009). Laboratory performance evaluation of CIR-emulsion and its comparison against CIR-foam test results from phase III. Iowa: Public Policy Center, University of Iowa, 93 p.

Li, J., Xiao, F., Zhang, L., Amirkhanian, S.N., (2019). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. J. Clean. Prod. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>>

Montepara A., Tebaldi G. Marradi A., Betti G., (2012). Effect on Pavement Performance of a Subbase Layer Composed by Natural Aggregate and RAP. In: SIIV-5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures 2012. Volume 53, Pages 1-1234.

Pires, G. M., Renz, E. M., Specht, L P. (2014). Estudo da estabilização granulométrica e química de material fresado com adição de cimento Portland e cinza de casca de arroz moída para aplicação em camadas de pavimento. In: Reunião Anual de Pavimentação, RAPv, 43º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, ENACOR, 17., 2014, Maceió, AL. Anais [...]. Maceió: Associação Brasileira de Pavimentação.

Rolim, A. C (2020) Avaliação de parâmetros de resistência mecânica de material fresado estabilizado com cimento Portland, cal e rocha basáltica pulverizada para emprego em pavimentação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Silva, M. R. (2018). Determinação de parâmetros que influenciam nas propriedades mecânicas de material fresado estabilizado granulométrica e quimicamente para emprego em pavimentação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Tanski, M. C (2016). Comportamento mecânico de material reciclado a frio com emulsão e cimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

XIAO, F.; YAO, S.; WANG, J.; LI, X.; AMIRKHANIAN, S. A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement. Construction and Building Materials v.180, p. 579–604, 2018.

Wirtgen, GmbH (2012). Reciclagem a frio: tecnologia de reciclagem a frio Wirtgen. WIRTGEN GROUP: Windhagen, Alemanha, 370p.