

Área e subárea do Conhecimento: Engenharias.

## **REUTILIZAÇÃO DE MATERIAL ASFÁLTICO FRESADO: AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS DO ESTADO DE RONDÔNIA**

Rafael Marques da Silva Sampaio (Centro Universitário São Lucas)

Alex Gomes Pereira (Centro Universitário São Lucas)

### **INTRODUÇÃO/OBJETIVO**

De acordo com o panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), em 2018, foram gerados no Brasil, 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). Desse total, cerca de 40 a 60% dos RSU produzidos são provenientes da indústria da construção civil (SILVA & FERNANDES, 2012).

Entre os RSU destaca-se o pavimento asfáltico recuperado (recycled asphalt pavement - RAP) que vem sendo foco de atenção crescente por parte dos gestores públicos e pesquisadores, tanto pelo aumento da geração, em função de obras de pavimentação, quanto pela necessidade de otimizar a sua disposição de forma correta.

De acordo com Mo et al. (2020) os estudos feitos nessa área estão concentrados principalmente na utilização do RAP. Diversos estudos envolvendo materiais fresados comprovam que esses materiais são capazes de gerar resultados positivos na melhoria das propriedades de engenharia geotécnica (JAHANBAKHSI et al., 2020). Por meio da pesquisa desenvolvida por Nascimento et al. (2013), comprovou-se que o uso de material fresado em diferentes proporções é capaz de gerar melhorias no desempenho e resistência mecânica do asfalto. Os autores do referido trabalho investigaram o desempenho mecânico de composições asfálticas recicladas com diferentes proporções de material fresado de pavimentos antigos: 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%. O estudo concluiu que as amostras asfálticas que têm em sua composição 10%, 15% e 20% de material fresado podem ser aplicadas em pavimentos rodoviários.

Neste contexto, a possibilidade de utilização deste material em pavimentos pode se apresentar como um meio de destinação viável para este subproduto. Ou seja, a geotecnia pode ter um papel fundamental no gerenciamento de resíduos, por meio do desenvolvimento de pesquisas que estudem sua aplicação nas mais diversas áreas da engenharia geotécnica. Deste modo, este trabalho busca avaliar a técnica da reciclagem a quente em misturas asfálticas, no que se refere às propriedades mecânicas, com intuito de verificar a adequabilidade de seu emprego na substituição de material granular por material fresado em diferentes porcentagens, visando sua aplicação em camadas de pavimento.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

A primeira etapa do programa experimental do trabalho consistiu na aquisição dos materiais. Em função de ser uma pesquisa regional, buscou-se utilizar os materiais empregados tradicionalmente na pavimentação asfáltica local, tomando como base o município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (RO).

Os materiais tradicionais, brita, areia e pó de pedra, foram adquiridos no comércio local da construção civil. O cimento asfáltico de petróleo foram doados pelo departamento de Engenharia Civil do Centro Universitário São (UniSL), campus 2.

No caso do material reciclado, este foi retirado da camada de rolamento da Tenreiro Aranha, que faz parte integrante de um projeto de obras de pavimentação e qualificação

em vias urbanas cidade de Porto Velho/RO, desenvolvido sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Obras e Pavimentação (SEMOB).

Os ensaios de caracterização física dos agregados minerais (brita, pó de pedra e areia) e RAP realizaram-se no Laboratório de Solos do departamento de Engenharia Civil do UniSL, campus 2, apresentando-se, na Tabela 1, os resultados e suas respectivas normas de regulamentação.

Tabela 1 - Caracterização física dos agregados virgens

Propriedades	Resultados	Especificação	Norma
Massa específica real, brita 1	2,690 g/cm <sup>3</sup>	-	DNER-ME 081/98
Absorção, brita 1	1,98%	-	DNER-ME 081/98
Massa específica real, brita 0	2,682 g/cm <sup>3</sup>	-	DNER-ME 081/98
Absorção, brita 0	1,80%	-	DNER-ME 081/98
Massa específica, pó de brita	2,699 g/cm <sup>3</sup>	-	DNER-ME 084/95
Teor de argila (Equivalente de areia)	69%	>55%	DNER-ME 054/97
Índice de forma	0,73	>0,5	DNER-ME 086/94
Desgaste de Los Angeles	36,1	<50%	DNER-ME 035/98

Fonte: Autores (2023).

Posteriormente, foram definidas as formulações das misturas densas para as composições asfálticas produzidas. Assim, as seguintes determinações acompanharam esta etapa da metodologia:

- Densidade aparente (*Bulk Specific Gravit* - Gmb) que seguirá os métodos da D2726 (ASTM, 2019);
- Densidade máxima da mistura (*Maximum Specific Gravity* - Gmm) definida conforme a metodologia descrita na D2041 (ASTM, 2019);
- Compactação e preparação dos corpos de prova que realizar-se-ão de acordo com a norma D6926 (ASTM, 2016); e
- Dosagem mineral e teor de projeto que acompanharam a metodologia Marshall.

Após as dosagens, os concretos asfálticos foram analisados em função da resistência mecânica, rigidez e durabilidade do material. O desempenho mecânico foi avaliado em função do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RTCD). Entretanto, a proposta inicial deste projeto de pesquisa contava com os ensaios de estabilidade e fluência Marshall dos corpos de prova. No entanto, a quebra do dispositivo para ensaio destes ensaios impossibilitou avaliação.

Para avaliação da resistência mecânica das composições asfálticas, utilizará o ensaio de RTCD.

O ensaio de resistência à tração indireta se caracteriza por submeter um corpo de prova cilíndrico a duas forças verticais concentradas e diametralmente opostas de compressão até a ruptura do corpo de prova (BERNUCCI *et al.*, 2008). No presente estudo, os procedimentos adotados seguiram as recomendações da norma ME136 (DNIT, 2018). A norma prescreve que as resistências à tração por compressão diametral de misturas asfáltica sejam determinadas em uma temperatura específica de 25°C ± 0,1°C. As amostras betuminosas foram submetidas uma carga estática com velocidade de 0,8mm/s no sentido diametral e na velocidade de 0,8 ± 0,1mm/s, até atingirem a ruptura. Após a ruptura dos corpos de prova, a resistência foi obtida pela Equação 1.

$$RTCD = \frac{2F}{\pi DH} \quad 1$$

Onde:

RTCD = resistência à tração, à temperatura do ensaio (MPa);

F = carga de ruptura (N);  
D = diâmetro de corpo de prova (mm); e,  
H = altura do corpo de prova (espessura) (mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO (Descrição e discussão dos resultados obtidos).

As curvas granulométricas dos agregados (brita 1", brita 0, pó de brita e RAP) empregados para a produção das composições asfálticas, correspondente às faixas granulométricas B e C da norma técnica ES 031 (DNIT, 2006).

O projeto de mistura com 10% de material fresado (CA-REF110) formado de 18,0% de brita 1, 29,0% de brita 0, 43,0% de pó de brita e 10,0% de RAP. Sob outra perspectiva, o projeto de mistura é constituído de 47,0% de agregado graúdo e 53,0% de agregado miúdo. Já o projeto de mistura com 20% de material fresado (CA-REF120) é composto de 18,0% de brita 1, 17,0% de brita 0, 45,0% de pó de brita e 20,0% de RAP. Sendo formado por 35,0% de agregado graúdo e 65,0% de agregado miúdo.

Com base nos parâmetros volumétricos e por meio das curvas vazios x ligante, foi possível determinar o teor ótimo de ligante (Tabela 2) correspondente ao critério de 4% de  $V_a$ , conforme as recomendações da norma ES 031 (DNIT, 2006).

Tabela 2 - Parâmetros volumétricos correspondente as misturas

Mistura	Teor de projeto (%)	$V_a$ (%)	RBV (%)	VAM (%)
CA-REF110	5,16	4,9	71,5	17,1
CA-REF120	4,63	4,4	72,1	15,4

Fonte: Autores (2023).

Além disso, nota-se que um acréscimo no teor de RAP resulta em uma menor adição de ligante virgem, dado que quanto maior for a porcentagem de material fresado na mistura asfáltica, maior será taxa de ligante envelhecido, por consequência, menor a porcentagem de ligante novo necessário, fato também observado por Centofante *et al.* (2018) e Correa (2020). Conforme os autores, isso pode ser justificado pela ativação do ligante envelhecido existente no material reciclado.

Além disso, cabe ressaltar que uma das principais causas do surgimento da deformação permanente no revestimento asfáltico está relacionada à dosagem inadequada da mistura asfáltica. Assim, a utilização de quantidades demasiadas de ligante asfáltico é um dos grandes responsáveis pelo afundamento de trilha de roda (ROBERTS *et al.*, 1996; BERNUCCI *et al.*, 2008). Justificado pelo fato de que o maior volume de ligante irá funcionar como lubrificante e reduzir o atrito interno e o intertravamento do esqueleto mineral da composição asfáltica (ROBERTS *et al.*, 1996). Nesta perspectiva, os resultados obtidos garantem propriedades que contribuam para minimizar os afundamentos de trilha de roda.

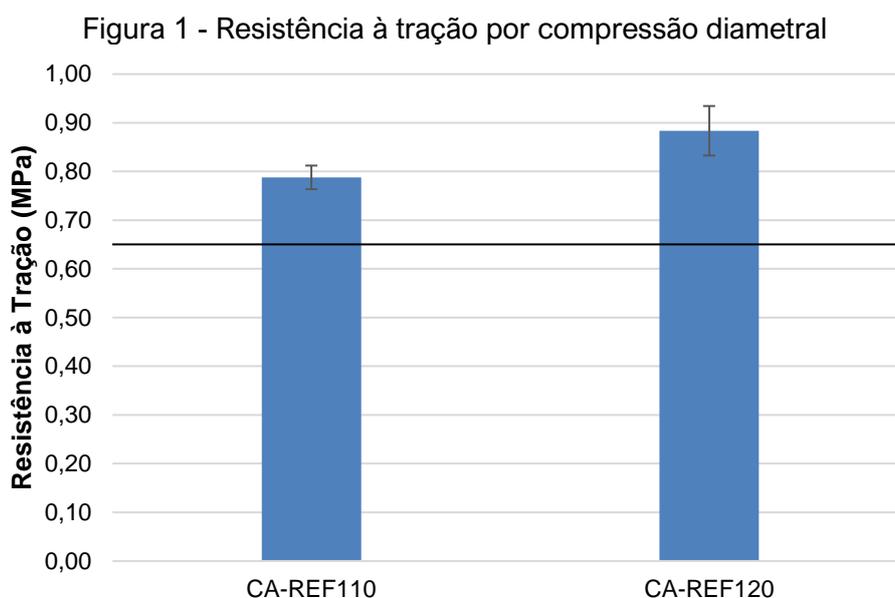
Observa-se ainda que o  $V_a$  de todas as misturas recicladas, ficaram dentro dos limites preconizados pela norma de regulamentação ES 031 (DNIT, 2006), em que especifica um  $V_a$  para a camada de ligação (*binder*) de 4 a 6%, fato este que se demonstra bastante benéfico para as misturas asfálticas, visto que quanto maior o  $V_a$  da mistura no campo, mais rápida será a velocidade de envelhecimento do ligante asfáltico que, conseqüentemente, aumentará a consistência da mistura. Esse aumento de consistência influencia o comportamento físico e reológico do ligante asfáltico, deixando-o mais duro e, portanto, mais quebradiço, menos dúctil e menos elástico (JUNIOR, 2004).

Além disso, os valores de  $V_a$  abaixo de 5% encontrados na presente pesquisa encontram-se em concordância com os levantamentos realizados por Whiteoak (1990), que relata para alcançar o envelhecimento do ligante asfáltico que pode ser considerado aceitável, as misturas asfálticas no campo de diferentes idades deverão conter

porcentagem de vazios menores do que 5%. Capitão (2003) expõe que misturas asfálticas de módulo elevado precisam apresentar  $V_a$  entre 2 e 6% e VAM superior a 13%. Considerando essas especificações de projeto, percebe-se que as misturas estudadas estão de acordo com todos os critérios considerados. Igualmente é possível observar o atendimento do parâmetro RBV, onde o valor especificado pelo DNIT é 65% a 72%, com exceção da configuração CA-REF120, cujo valor não se enquadrou dentro dos limites.

Para o tamanho nominal máximo do agregado de 19,10mm, caso das misturas em estudo, a norma ES 031 (DNIT, 2006) especifica que o valor mínimo do parâmetro VAM deve ser de 15%. Analisando este parâmetro, percebe-se o enquadramento de todas as misturas recicladas. Ainda que a metodologia de dosagem asfáltica empregada no presente trabalho seja fundamentada no atendimento total dos critérios volumétricos, constata-se que a mistura CA-REF120 não atendeu totalmente tais critérios, mas, apesar disso, a mistura foi aceita, visto que os parâmetros volumétricos não garantem que o teor ótimo de projeto representa o melhor teor para todos os aspectos do comportamento de uma composição asfáltica (NASCIMENTO *et al.*, 2013)

Na Figura 1 é confrontada, graficamente, a média aritmética dos resultados dos ensaios de RTCD das composições asfálticas produzidas, em temperatura de 25°C. Os valores expressam a média de vinte corpos de prova para cada composição asfáltica.



Fonte: Autores (2023).

Segundo Centofante (2016), à medida em que se aumenta o teor de fresado nas misturas asfálticas, os resultados de resistência à tração também aumentam, fundamentalmente devido ao aumento da quantidade de ligante envelhecido na mistura, sendo que o ligante, quando envelhecido, isto resulta em um aumento da rigidez, o que implica no enrijecimento da composição. Este efeito tende a aumentar a resistência à formação das trilhas de roda da mistura e pode ser considerado como um efeito benéfico do envelhecimento (JUNIOR, 2004). Aliado a isso, os valores de RTCD das misturas modificadas apresentou uma tendência de aumento.

Bernucci *et al.* (2008) descrevem como valores usuais de RTCD entre 0,5 e 2,0 MPa, respectivamente. Enquanto a norma ES 031 (DNIT, 2006), especifica como valor mínimo em 0,65 MPa. Verifica-se que os resultados de resistência à tração indireta estática na temperatura de 25°C, os valores de toda as misturas asfálticas produzidas se mostraram

acima deste valor, atendendo, assim, o limite imposto pela referida norma de regulamentação, além de se adequarem ao faixa instruída na bibliografia nacional.

## **CONCLUSÃO**

O presente trabalho investigou o comportamento mecânico de composições asfálticas produzidas simultaneamente por material fresado e por ligante modificado. A adição conjunta destes materiais na mistura asfáltica objetivou à associação da influência benéfica dos materiais, ao efeito também positivo do ganho de rigidez (recuperação elástica) conferida pelo grafite comercial e cominuído.

Tendo isso em mente, foram desenvolvidos, dez concretos asfálticos, diferenciados pelo teor de adição de RAP (10% ou 20%), tipo (grafite comercial ou grafite cominuído) e teor (4% e 5%) de incorporação em peso na matriz asfáltica (CAP 50/70). A pesquisa partiu desde o desenvolvimento do grafite em escala reduzida, passando pela caracterização dos materiais constituintes das misturas asfálticas, avaliação empírica e reológica dos ligantes asfálticos convencionais e modificados e estendendo-se ao estudo do comportamento mecânico (RTCD e módulo de resiliência) das composições asfálticas alternativas.

No estudo de caracterização das matérias-primas (agregados e ligantes asfálticos), observou-se que todos os materiais se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pelas respectivas normas. Ainda, na etapa de caracterização, a realização de ensaios MEV, área superficial, granulometria por difração a laser e DRX nas amostras de grafite possibilitaram a visualização das modificações após o processo de moagem mecânica, em especial a amostra de grafite moída por 4 horas, o qual demonstrou a diminuição de suas partículas e, conseqüentemente o aumento de sua área superficial em 32083,60% quando comparado a amostra original. Muito embora não se tenha parâmetros para comparar estes resultados, foi possível concluir a relevância da análise desses materiais separadamente, já que devido ao seu tamanho, o material apresentou grandes diferenças em seus resultados.

Quanto à dosagem, em geral, amostras asfálticas apresentaram enquadramento de todos os critérios. Ainda, observou que os que o RAP e os ligantes modificados afetam diretamente a trabalhabilidade da mistura asfáltica, dado que proporcionam menor teor de ligante efetivo na mistura, além de melhorar a molhabilidade e efeito lubrificante entre as partículas, alcançando mais facilmente o grau de empacotamento desejado (% de Va) com menores porcentagens de ligante asfáltico na composição asfáltica.

Por meio dos ensaios mecânicos, RTCD e módulo de resiliência, demonstraram-se resultados bastante promissores com a inserção de material fresado e também com a incorporação simultaneamente do material fresado e ligante modificado, quando comparados às referências normativas e literatura. Por meio dos resultados de módulo de resiliência, verificou-se o ganho de rigidez para as misturas alternativas, sendo esse aumento mais expressivo quando utilizado simultaneamente RAP e ligante modificado com grafite cominuído, a mistura modificada simultaneamente por RAP e por ligante modificado também se mostraram superiores.

Em relação ao ensaio de RTCD, também foi possível verificar que os valores de resistência à ação foram superiores ao limite mínimo, 0,65MPa, exigido pela norma ES 031 (DNIT, 2006). Estes resultados eram esperados já que todos os materiais utilizados foram devidamente caracterizados e apresentaram resultados de acordo com o estabelecido pelas respectivas normas e literatura especializada, demonstrando que estes concretos asfálticos podem ser empregados em obras de pavimentação asfáltica no Brasil.

Portanto, os resultados dos ensaios mecânicos evidenciaram desempenho extremamente positivos das misturas asfálticas alternativas. Tal conclusão contribui para ratificar que o emprego do RAP em composições asfálticas pode ser uma alternativa aos

agregados convencionais para a produção de misturas asfálticas. Além disso, para as rodovias com movimento de veículos pesados, sobretudo caminhões, e considerando-se as restrições do ligante asfáltico tradicional utilizado no país, a incorporação de grafite no asfalto, possibilitaria o aumento vida útil do pavimento, e por consequência, o decréscimo da necessidade de manutenção, permitindo significativa economia de recursos ao estado e aos usuários.

**AGRADECIMENTOS (Instituição de fomento/ apoio).**

Os autores agradecem ao Centro Universitário São Lucas pelo apoio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho, por meio de concessão de bolsa de estudo.

**PALAVRAS CHAVE**

Mistura asfáltica, RTCD, RAP.

**E- MAIL**

[rafah.marquesxd@gmail.com](mailto:rafah.marquesxd@gmail.com)

[alexgp885@gmail.com](mailto:alexgp885@gmail.com)