

## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETO ASFÁLTICO COM INCORPORAÇÃO DE VIDRO MOÍDO

### **Alexandre Bohn Junior**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari  
alexandre.bohn@universo.univates.br

### **Gabriel de Quadros**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari  
gabriel.quadros@universo.univates.br

### **Rafael Natan Duarte de Vargas**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari  
rafael.vargas@universo.univates.br

### **Sheila Adrine Muniz**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari  
sheila.muniz@universo.univates.br

### **João Rodrigo Guerreiro Mattos**

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari  
joao.mattos@univates.br

**Resumo.** *A elaboração do presente artigo tem por finalidade comparar os diferentes comportamentos apresentados por uma dosagem de concreto asfáltico usualmente adotado, pertencente à Faixa “C” do DNIT (projeto referência), em relação à mesma mistura asfáltica acrescida de 1% de vidro moído em sua composição. A escolha do pó de vidro como adição na mistura leva em consideração que o mesmo é um resíduo proveniente da construção civil, capaz de ser reaproveitado, contribuindo assim para um processo mais sustentável. Para comparação dos resultados foram dosados dois projetos de misturas asfálticas, um denominado como projeto de referência e o outro com a incorporação de 1% de pó de vidro moído em relação à massa dos agregados. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação de 1% de vidro não alterou o teor de ligante do projeto, porém resultou em ganhos mecânicos mensurados através da estabilidade e da resistência à tração.*

**Palavras-chave:** *Concreto asfáltico. Vidro moído. Propriedades mecânicas.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Apesar da malha rodoviária brasileira ser o principal sistema logístico do país, as condições das estradas ainda deixam muito a desejar. O número de pistas asfaltadas no Brasil ainda é muito baixo, e infelizmente, as poucas vias que estão pavimentadas apresentam más condições em sua grande maioria. Os principais defeitos encontrados são o trincamento, esfarelamento ou descolamento e a deformação nas trilhas de roda, deixando o material acumulado nas laterais da via. Os efeitos de deterioração do asfalto podem ser agravados por vários fatores, como por exemplo, o aumento da frota, sobrecarga nos veículos, os efeitos da água e as altas temperaturas (CNT, 2018).

É constante a busca por novos materiais que possam ser incorporados às misturas

asfálticas, segundo Shafabakhsh e Sajed (2014), a adição de cacos de vidro à mistura é capaz de inibir deformações e trincas por fadiga, desde que a incorporação do vidro não ultrapasse o valor ótimo para cada mistura, além de melhorar propriedades dinâmicas em relação à mistura asfáltica comum (sem adição de vidro). Contudo, essa adição somente é recomendada se não trazer prejuízos nas etapas de usinagem, espalhamento e compactação, bem como na coesão dos agregados da mistura.

Conforme Matos e Sousa-Coutinho (2012), o vidro apresenta diversas vantagens, dentre as quais destacam-se a sua elevada dureza e a capacidade de ser 100% reaproveitado em sua reciclagem. Tais vantagens permitem a sua utilização em diversas aplicações, sendo produzido em grande escala, o que por consequência, acumula um grande estoque de resíduos. Conseguir reutilizar os rejeitos na área da construção civil trará vários benefícios, tanto para a economia, quanto para o meio ambiente (LATIEF, 2017).

A presente pesquisa tem como objetivo analisar as propriedades finais da mistura asfáltica com a adição de 1% de pó de vidro em relação ao projeto de referência, onde buscou-se adicionar o pó de vidro atuando como um material inerte com função única de enchimento (fíler), portanto, preenchendo os vazios entre os agregados graúdos. Ao final do estudo, verificou-se os resultados quanto às alterações mecânicas na dosagem das misturas asfálticas e da resistência à tração.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Agregados

Os agregados utilizados ao longo da pesquisa são provenientes de pedreiras da

região do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul. A mesma é composta por basalto e os tamanhos utilizados foram 3/4", 3/8" e pó de pedra, fracionados conforme projeto. A Fig. 1 apresenta as curvas granulométricas dos agregados.

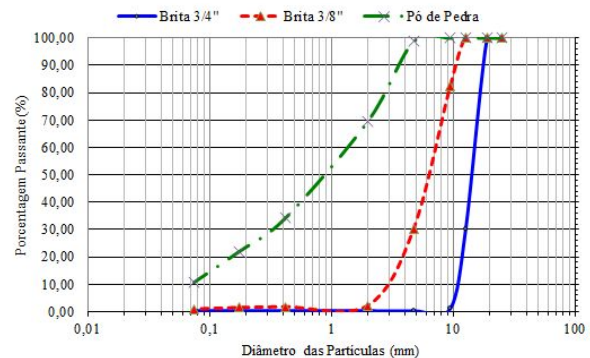


Figura 1. Curvas granulométricas dos agregados utilizados na mistura asfáltica

As características dos agregados são apresentadas na Tabela 1, na qual as densidades dos agregados graúdos e miúdos foram determinadas pela norma DNER-ME 081/98 e o equivalente de areia pela norma DNER-ME 054/97.

Tabela 1. Caracterização dos agregados utilizados na mistura asfáltica

Fração #	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó de Pedra
Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )	2,970	2,981	2,924
Densidade Apar. (g/cm <sup>3</sup> )	2,859	2,850	2,803
Absorção (%)	1,95	2,20	
Equivalente de Areia (%)			68,4

### 2.1.2 *Pó de vidro*

O pó de vidro utilizado é proveniente de resíduos de vidro plano, que, após peneiramento, utilizou-se apenas o material passante na peneira de nº 200 (abertura de 0,075mm). O teor percentual de pó de vidro incorporado na mistura asfáltica foi em relação à massa dos agregados.

### 2.1.3 *Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)*

O ligante asfáltico utilizado foi o convencional, ou seja, CAP 50/70. As propriedades do ligante estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades do CAP 50/70  
(adaptado de Greca Asfaltos, 2018)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	MÉTODO ABNT	ESPECIFICAÇÃO CAP 50-70
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	NBR-6576	50 a 70
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	NBR-6560	46
Viscosidade Saybolt Furol a 135°C, mín.	SSF	NBR-14950	141
a 150°C, mín.			50
a 177°C			30 a 150
ou			
Viscosidade Brookfield: a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín.	cP	NBR-15184	274
a 150°C, SP 21, mín.			112
a 177°C, SP 21			57 a 285
Índice de Susceptibilidade Térmica			(-1,5) a (+0,7)
Ponto de Fulgor, mín.	°C	NBR-11341	235
Solubilidade em Tricloroetileno, mín.	% massa	NBR-14855	99,5
Ductilidade a 25°C, mín.	cm	NBR-6293	60

## 2.2 Métodos

Para o desenvolvimento do artigo, foram realizados previamente os ensaios de granulometria do agregado e o fracionamento do mesmo. A dosagem do projeto de referência utilizou a Faixa C do DNIT - Massa Grossa, onde foram determinados seus parâmetros conforme as normas vigentes. Para o projeto, adotaram-se as frações referentes à Tabela 3, e a curva granulométrica do projeto foi moldada conforme mostrado na Fig. 2.

Tabela 3. Frações dos agregados utilizadas na mistura asfáltica

Material	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó de Pedra
Fração	19,0%	30,0%	51,0%

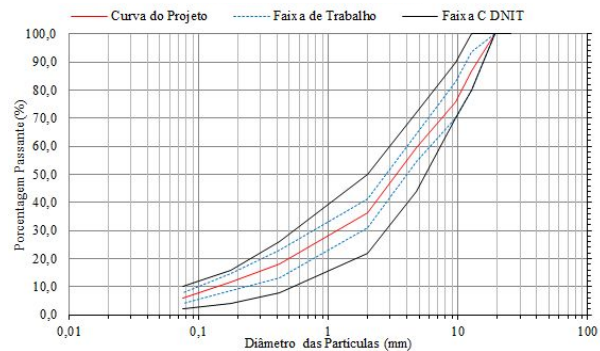


Figura 2. Curva granulométrica da mistura asfáltica

### 2.2.1 *Dosagem Marshall*

A moldagem dos corpos de prova se deu conforme o preconizado pelo Ensaio Marshall de misturas betuminosas a quente (DNER-ME 043/95), capaz de determinar os valores de estabilidade e fluência da mistura asfáltica.

Para cada dosagem de mistura asfáltica, foram separadas 15 amostras com os agregados previamente secos, que serviriam para determinar o teor de ligante do projeto da mistura asfáltica de referência e da mistura com a adição de 1% de pó de vidro. Em geral, no Brasil, se utiliza como teor de projeto o que coincide com o volume de vazios (Vv) de 4%.

### 2.2.2 *Resistência à tração por compressão diametral*

Para caracterizar mecanicamente as misturas asfálticas dosadas sem e com a incorporação do vidro moído, utilizou-se o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. O método utilizado para o ensaio seguiu a norma DNER-ME 138/94.

A aparelhagem necessária consiste em prensa mecânica com sensibilidade inferior a 2,0 kgf e na velocidade de 0,8 mm/s, estufa capaz de manter a temperatura entre 30°C e 60°C, sistema de refrigeração capaz de manter a temperatura em torno de 25°C e paquímetro.

A execução do rompimento do corpo de prova consiste em colocá-lo em posição horizontal, repousando, segundo uma geratriz, sobre o prato inferior da prensa. Verifica-se visualmente a retilineidade das geratriz de contato com ambos os pratos. No caso de desvios sensíveis, é necessário interpor, entre os pratos da prensa e do corpo de prova, ao longo dessas geratrizes, dois frisos metálicos curvos, com o comprimento do corpo de prova.

Na sequência, aplica-se a carga progressivamente até que se dê a ruptura, por separação das duas metades do corpo de prova, segundo o plano diametral vertical. Com o valor obtido é calculada a resistência à tração do corpo de prova rompido por compressão diametral, através da Eq. (1):

$$\sigma R = \frac{2F}{\pi DH} \quad (1)$$

$\sigma R$  – Resistência à tração, Kgf/cm<sup>2</sup>.

F – carga de ruptura, Kgf.

D – Diâmetro do corpo de prova, cm.

H – Altura do corpo de prova, cm.

Na Fig. 3, apresenta-se uma imagem ilustrativa do processo de rompimento do corpo de prova. Através da imagem é possível observar o posicionamento do corpo de prova na prensa e que a carga aplicada consiste numa força axial vertical que induz o trincamento indireto por tração, visto que a ruptura ocorre na posição vertical do corpo de prova.



Figura 3. Posicionamento do corpo de prova na prensa metálica.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Através da dosagem Marshall foram determinadas a estabilidade e fluência dos corpos de prova para o projeto da mistura de referência e para o projeto com adição de 1% de pó de vidro. Os resultados comparativos das dosagens de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) são apresentados graficamente entre as figuras 4 e 9.

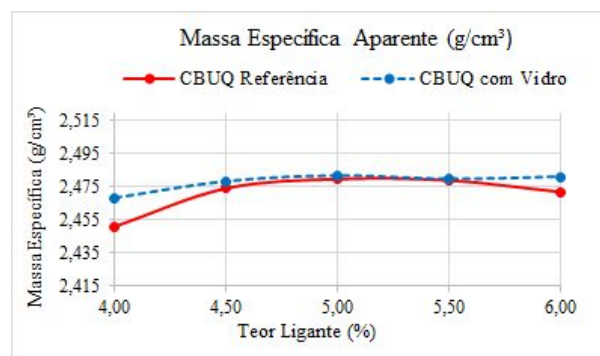


Figura 4. Resultado da massa específica aparente da mistura de CBUQ



Em relação a massa específica aparente dos projetos (Fig. 4), os resultados foram bastante semelhantes. Sendo que a massa específica encontrada foi de 2,480 g/cm<sup>3</sup> para o CBUQ da mistura de referência e 2,482 g/cm<sup>3</sup> para o CBUQ com Vidro no teor de ligante adotado como o de projeto.

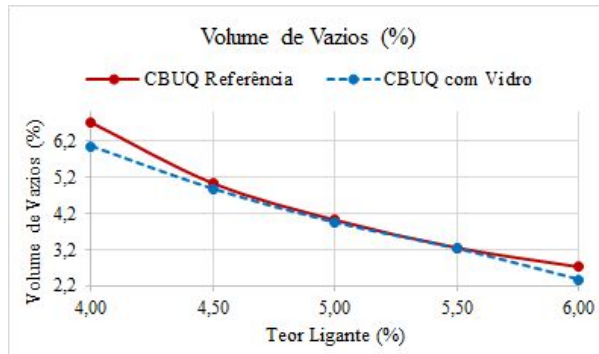


Figura 5 - Resultado do Volume de Vazios da mistura de CBUQ

O volume de vazios (Fig. 5) encontrado tanto no CBUQ da mistura de referência, quanto no CBUQ com Vidro, foram muito próximos. Dessa forma, para ambas as misturas o teor de ligante de projeto obtido foi de 5, valor que equivale ao Vv de 4%. Esse aspecto é bem interessante, uma vez que a mistura com vidro não necessitou da adição de maior teor de ligante, o que poderia encarecer o processo de sua utilização.

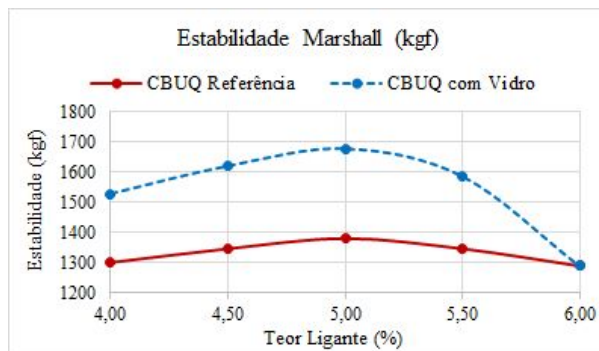


Figura 6 - Resultado da Estabilidade da mistura de CBUQ

Os resultados de estabilidade (Fig. 6) obtiveram um aumento de, aproximadamente, 21% com a incorporação do vidro moído na mistura. O CBUQ da mistura de referência apresentou uma estabilidade de 1381 kgf e o CBUQ com Vidro de 1677 kgf no teor de ligante adotado no projeto, ou seja, de 5%.

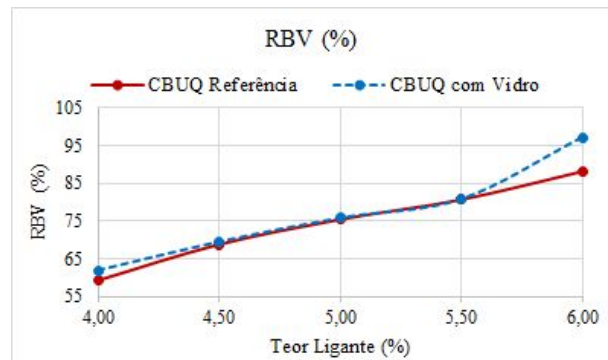


Figura 7 - Resultado da Relação Betume/Vazios da mistura de CBUQ

Conforme visto na Fig. 7, os valores de RBV foram bastante semelhantes, correspondendo respectivamente a 75,49% e 75,87% para o CBUQ da mistura de referência e para o CBUQ com Vidro, respectivamente.

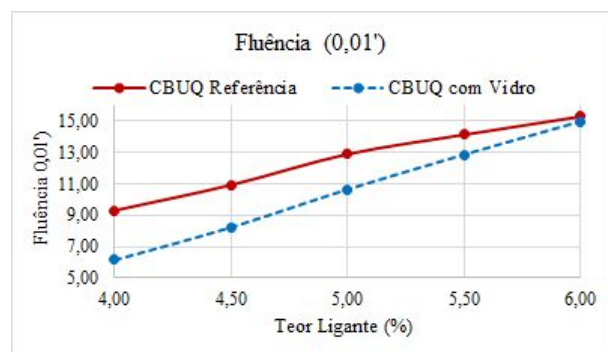


Figura 8 - Resultado da Fluência da mistura de CBUQ

Em relação à fluência (Fig. 8), os resultados foram de 12,90 mm para o CBUQ da mistura de referência e de 10,65 mm para o CBUQ com Vidro, ocasionando uma

diminuição de aproximadamente 21% na fluência da mistura.

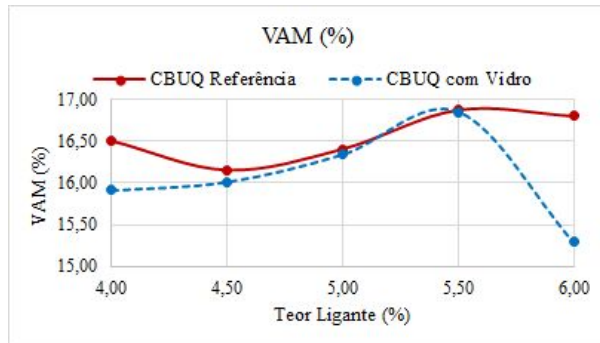


Figura 9 - Resultado dos Vazios do Agregado Mineral da mistura de CBUQ

De acordo com a Fig. 9, os resultados dos VAM do projeto do CBUQ da mistura de referência e do CBUQ com Vidro, obtiveram valores próximos, sendo respectivamente de 16,41% e 16,34% no teor de ligante de 5%.

Com base nos resultados apresentados através das Figuras 4 à 9, foi determinado o teor de ligante para o projeto com a adição de pó de vidro de 5%, que foi o mesmo obtido para a mistura de referência. Entretanto, percebe-se que, mecanicamente, a incorporação de vidro moído à mistura asfáltica está mostrando resultados satisfatórios, visto que melhorou a estabilidade e fluência do CBUQ.

Definido o teor de ligante ótimo, foram moldados uma triplicada de corpos de prova com este teor para as duas misturas analisadas para que fosse realizado o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Os resultados obtidos, bem como a análise estatística dos mesmos, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de resistência à tração a 25° C na mistura de CBUQ

	CBUQ Referência			CBUQ com Vidro		
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Resistência à tração (MPa)	0,93	1,07	1,13	1,18	1,26	1,33
Média (MPa)	1,04			1,26		
Desvio Padrão	0,103			0,075		
Coefficiente de Variação (%)	9,84			5,97		

Analisando os dados apresentados na Tabela 4, verificou-se um aumento de aproximadamente 20% na resistência do CBUQ com vidro em relação ao CBUQ da mistura de referência. O que comprova que o teor de 1% de incorporação de vidro moído na mistura asfáltica resultou numa melhora mecânica para o CBUQ da Faixa C do DNIT estudado nesta pesquisa. A melhora no comportamento mecânico da mistura com o vidro moído se dá devido ao efeito de filer (enchimento) que o mesmo proporciona.

#### 4. CONCLUSÃO

Através do estudo desenvolvido ao longo da elaboração deste artigo, foi possível afirmar que a adição do pó de vidro moído à mistura asfáltica é capaz de trazer benefícios às suas propriedades mecânicas. O teor de 1% de pó de vidro incorporado à mistura asfáltica apresentou melhora na estabilidade, fluência e resistência à tração em comparação à mistura de referência (sem o vidro). Os demais parâmetros da dosagem permaneceram praticamente os mesmos.

Outro aspecto relevante a ser comentado relaciona-se à sustentabilidade, uma vez que o vidro é um material 100% reciclável, colaborando com um baixo impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.;  
CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B..

**Pavimentação Asfáltica:** Formação Básica  
para Engenheiros.. Rio de Janeiro, RJ. 2008.  
Cap. 5.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO  
TRANSPORTE – CNT; SEST SENAT.

**Pesquisa CNT de Rodovias 2018.** Disponível  
em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br>>.  
Acesso em 20 abr. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
ESTRADAS DE RODAGENS. **DNER-ME**  
**133/94:** Determinação do módulo de  
resiliência. Rio de Janeiro, 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
ESTRADAS DE RODAGENS. **DNER-ME**  
**138/94:** Determinação da resistência à tração  
por compressão diametral. Rio de Janeiro,  
1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
ESTRADAS DE RODAGENS. **DNER-ME**  
**054/97:** Equivalente de areia. Rio de Janeiro,  
1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
ESTRADAS DE RODAGENS. **DNER-ME**  
**081/98:** Determinação da absorção e da  
densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro,  
1998.

GRECA ASFALTOS. **Catálogo.** Disponível  
em: [www.grecaasfaltos.com.br](http://www.grecaasfaltos.com.br), acessado em:  
10 de abril de 2018.

LATIEF, R. H. Investigating the Effect of  
Using Waste Glass on the Properties of  
Asphalt Concrete Wearing Course Mixture.

**International Journal Of Science And  
Research (IJSR)**, [s.l.], V. 6, n. 12,  
p.1592-1598, Dec. 2017.

MATOS, A. M.; SOUSA-COUTINHO, J.  
Durability of mortar using waste glass powder  
as cement replacement. **Construction And  
Building Materials**, [s.l.], V. 36, p.205-215,  
Nov. 2012.

SHAFABAKHSH, G.H.; SAJED, Y.  
Investigation of dynamic behavior of hot mix  
asphalt containing waste materials; case study:  
Glass cullet. **Case Studies In Construction  
Materials**, [s.l.], v. 1, p.96-103, 2014.