

**IAG95-06-2013**  
**ESTUDO DO MATERIAL FRESADO ESTABILIZADO QUÍMICA E**  
**GRANULOMETRICAMENTE PARA APLICAÇÃO EM BASES DE**  
**PAVIMENTOS**

Gustavo Menegusso Pires  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS, Brasil  
gmenegussopires@gmail.com

Luciano Pivoto Specht  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS, Brasil  
luspecht@gmail.com

Rinaldo José Barbosa Pinheiro  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS, Brasil  
rinaldo@ufsm.br

Deividi da Silva Pereira  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS, Brasil  
dsp@ufsm.br

Benhur Massuquini Conceição  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS, Brasil  
Benhur.mc@gmail.com

## **Resumen**

El medio de transporte más utilizado en Brasil es el camino que se mueve más del 60% de la carga en el país. La difusión de reciclaje de pavimentos tiene un enorme potencial de aplicación y es beneficioso desde el punto de vista económico y ambiental, sin embargo, esto sólo será posible con la aplicación de técnicas adecuadas para la estabilización del asfalto fresado. Esta investigación tiene como objetivo evaluar, a través de pruebas de laboratorio, la viabilidad de utilizar pura, estabilizada material molido (mecánica, química y tamaño de partícula) en capas de pavimentos flexibles. Las pruebas se realizaron en el Laboratório de Materiais de Construção Civil de la Universidade Federal de Santa Maria. El material fresado (RAP) se deriva de dos carreteras en el estado de Rio Grande do Sul, BR-290 y RS-509. Se determinó el contenido de material molido 70% y 30% de RAP. Para la prueba de resistencia a la compresión se conformados en el cuerpo de prueba de 10 x 20 cm con diferentes niveles de Cemento Portland, situada donde se pone un contenido de 2,1 MPa a los 28 días de curado donde por la BR-290 fue 4,86% y para el RS-509, 5,37%. El valor de la CBR, el RAP puro era 56% para BR-290 y 21% para RS-509, mientras que el material estabilizado con 30% de agregado virgen fue del 95% en la BR-290 y

68% para RS-509. De los resultados obtenidos se puede afirmar la viabilidad técnica de la utilización de materiales reciclados en bases y subbases de pavimentos.

## **Resumo**

O modal de transportes mais utilizado no Brasil é o rodoviário que movimenta mais 60% das cargas nos país. A difusão da reciclagem de pavimentos tem um potencial enorme de aplicação e é benéfica do ponto de vista econômico e ambiental; todavia, isso só será possível com a aplicação de técnicas adequadas de estabilização do material asfáltico fresado. Esta pesquisa objetiva avaliar, através de ensaios laboratoriais, a viabilidade da utilização de material fresado puro e estabilizado (mecânica, granulométrica e quimicamente) em camadas de pavimentos flexíveis. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria. O material fresado (RAP) é oriundo de duas rodovias do estado do Rio Grande do Sul, BR-290 e RS-509. Realizado estabilização granulométrica, sendo determinado o teor de 70% de material fresado e 30% de agregado natural. Para ensaio de resistência à compressão simples foram moldados em corpos-de-prova de 10 x 20cm com diferentes teores de cimento Portland (CP-IV), encontrando-se um teor onde foi obtido 2,1 MPa de resistência aos 28 dias de cura, onde para BR-290 foi de 4,86% e para RS-509, 5,37%. O valor do CBR do material fresado puro foi de 56% para BR-290 e 21% para RS-509, enquanto que do material estabilizado com 30% de agregado virgem foi de 95% para BR-290 e 68% para RS-509. A partir dos resultados obtidos é possível afirmar a viabilidade técnica do uso de material reciclado em bases e subbases de pavimentos.

## **INTRODUÇÃO**

O modal rodoviário tem papel fundamental no desenvolvimento social e econômico mundial, principalmente no Brasil, onde os outros modais não possuem tanta força, sua importância é indiscutível, pois mais da metade das cargas são transportadas através das rodovias. O consumo de cerca de 1,52 bilhões de toneladas de agregados virgens e 80 milhões de toneladas de betume para a produção de 1,6 bilhões de toneladas de asfalto em todo o mundo revela a importância da abordagem ambiental sustentável em termos de efeitos ambientais e consumo de recursos naturais de forma sustentável. A difusão da reciclagem de pavimentos tem um potencial de criação de aproximadamente um bilhão \$/ano, em valor econômico mundial. Isso só será possível com a aplicação de processos corretos para reciclar o material asfáltico fresado, não desperdiçá-lo e utilizando técnicas eficazes. Desta forma, a resultante de efeitos ambientais e do consumo de recursos naturais em processos de produção de pavimentos asfálticos irá minimizar (GENCER *et al*, 2012).

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Estabilização de solos**

Segundo Yoder e Witczak (1975), a estabilidade de uma mistura depende da forma e do tamanho das partículas, sua distribuição granulométrica, densidade relativa, fricção interna e da coesão. Um material granular concebido para a máxima estabilidade deve possuir fricção interna alta para resistir à deformação imposta pelas cargas. Destes fatores, a distribuição granulométrica e a proporção de finos para a fração de agregados graúdos é considerada a mais importante.

### *Estabilização química com cimento Portland*

Os principais materiais de cimentação que podem ser usados incluem o cimento Portland, cal, cinzas volantes e materiais betuminosos (INGLES E METCALF, 1972; YODER E WITCZAK, 1975). O cimento Portland é o agente cimentante utilizado em maior escala e com maior sucesso. Ele pode ser utilizado para camadas de base e de sub-bases de todos os tipos. Sua aplicação pode ser em solos granulares, solos siltosos e argilas, mas não pode ser utilizado em materiais orgânicos, pois estes podem perturbar a hidratação do cimento (YODER E WITCZAK, 1975).

Yoder e Witczak (1975) citam que a quantidade de cimento requerida para estabilizar um material granular depende da quantidade e qualidade dos finos contidos, bem como a densidade final da mistura compactada. Os valores típicos variam entre 2 e 6% em peso do material final compactado.

### **Reciclagem de pavimentos**

Para Bernucci et al (2008) reciclagem de pavimentos é o processo de reutilização de misturas asfálticas envelhecidas e deterioradas para produção de novas misturas, aproveitando os agregados e ligantes remanescentes, provenientes da fresagem, com acréscimo de agentes rejuvenescedores, espuma de asfalto, CAP ou EAP novos, quando necessários, e também com adição de aglomerantes hidráulicos.

De acordo com a Associação de Reabilitação e Reciclagem de Pavimentos Asfálticos dos Estados Unidos (*The Asphalt Recycling and Reclaiming Association* - ARRA), a reciclagem dos materiais de um pavimento já existente para produzir novos materiais de pavimentação, resulta em considerável economia de recursos, dinheiro e energia. Ao mesmo tempo auxilia na solução de problemas de disposição do que seriam os entulhos decorrentes de processos de restauração. Além disso, devido à reutilização dos materiais existentes, a geometria e espessura originais do pavimento podem ser mantidas durante o processo construtivo.

De acordo com Brosseaud (2011), atualmente os materiais mais reciclados nos Estados Unidos são as misturas asfálticas, com mais de 80 milhões toneladas por ano. Isso representa aproximadamente duas vezes mais que os quatro resíduos notadamente mais reciclados, que são papéis, vidros, plásticos e alumínio, onde juntos somam 40 milhões de toneladas recicladas por ano.

## **METODOLOGIA**

### **Materiais**

Rodovia BR 290: O material fresado utilizado na etapa laboratorial foi coletado na BR 290, pista Norte, durante o processo de manutenção do pavimento asfáltico em julho de 2012 nas proximidades do acesso a cidade de Cachoeirinha/RS. Foram feitas 06 coletas, em pares, diretamente da esteira da máquina fresadora.

Rodovia RS 509: O material fresado foi coletado na RS 509 durante o processo de manutenção do pavimento asfáltico em outubro de 2011, aproximadamente no Km 06, trecho entre Camobi e

Santa Maria/RS. Cerca de 6 m<sup>3</sup> de material foram coletados e depositados nos fundos do LMCC da UFSM.

Os agregados virgens utilizados nas misturas BR 290 são provenientes da Pedreira do Consórcio Construtor TRS localizado as margens da rodovia BR 290 em Santo Antônio da Patrulha/RS. Trata-se de um agregado de origem basáltica. Os agregados virgens utilizados nas misturas RS 509 são provenientes da Brita Pinhal localizada na Estrada Morro do Baú – BR 158, Itaara/RS, município próximo a Santa Maria/RS; trata-se de um agregado de origem basáltica.

O cimento utilizado na pesquisa é o CP IV-32 - Cimento Portland Pozolânico produzido pela CCP – Cimpor Cimentos do Brasil na unidade de Candiota/RS. Sua composição é de silicatos de cálcio, aluminatos e ferro aluminatos, sulfato de cálcio, material carbonático e pozolana.

Segundo a NBR 5736/1991 o cimento Portland pozolânico é um aglomerante hidráulico obtido pela mistura de clínquer Portland e materiais pozolânicos. Os materiais pozolânicos, não reagem com a água da forma como são obtidos. Entretanto, quando finamente divididos, reagem com o hidróxido de cálcio em presença de água e na temperatura ambiente, dando origem a compostos com propriedades aglomerantes. Uma vantagem do uso de deste cimento é a redução do calor de hidratação e o aumento da resistência à compressão em idades avançadas.

## **Ensaio laboratoriais**

### *Ensaio de compactação*

Na pesquisa foi utilizada a Energia Modificada, conforme é prática para materiais granulares, e segue os preceitos da norma do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. A compactação foi realizada para as misturas estabilizadas granulometricamente e para o material fresado puro, ambos para os materiais BR 290 e RS 509.

### *Índice de Suporte Califórnia*

Assim como no ensaio de compactação, foram realizados para as misturas estabilizadas granulometricamente e para o material fresado puro, ambos para os materiais da BR 290 e RS 509.

### *Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS)*

Foi realizado em corpos-de-prova cilíndricos de 10x20 cm, com teores de 2, 3, 4, 5 e 6% de cimento Portland adicionados às misturas estabilizadas granulometricamente, dos materiais da BR 290 e RS 509. A forma de adição foi a substituição em massa do material virgem e fresado por cimento Portland. Foram adotados 7 e 28 dias para cura úmida dos CP's. O teor de cimento considerado ideal, foi utilizado para moldagem dos corpos-de-prova para ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) e Módulo de Resiliência (MR).

### *Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD)*

Foram utilizados os moldes de misturas asfálticas, onde as amostras ficam com aproximadamente 6,3 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Este ensaio foi realizado apenas para a mistura do material da RS 509, com tempo de cura úmida de 7 e 28 dias.

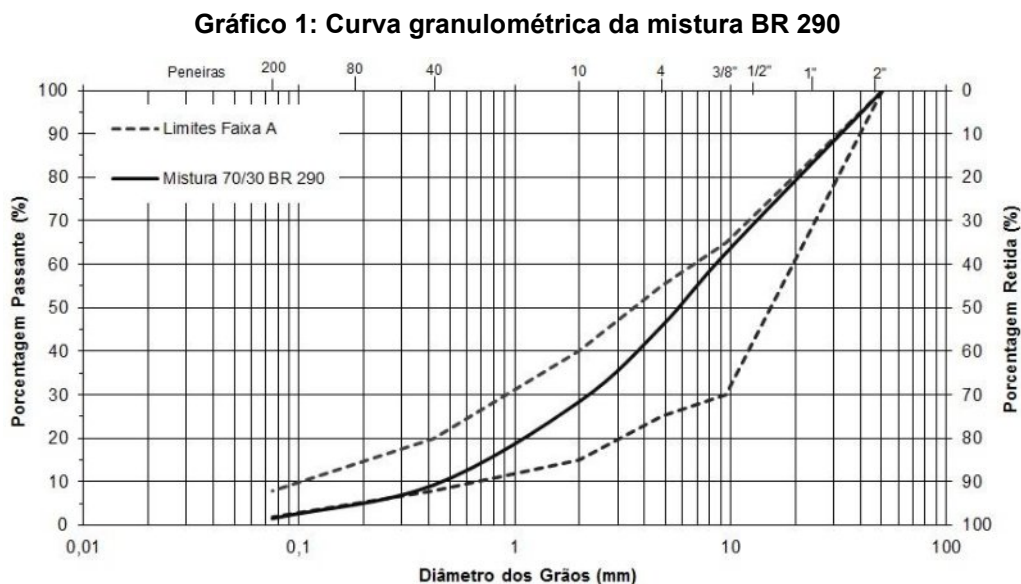
### *Ensaio de Módulo de Resiliência (MR)*

Este ensaio foi realizado na Universal Testing Machine – UTM 25 no LMCC da UFSM. E assim como no ensaio de RTCD, moldes cilíndricos de 6,3 x 10 cm, mistura do material RS 509 e tempos de cura úmida de 7 e 28 dias.

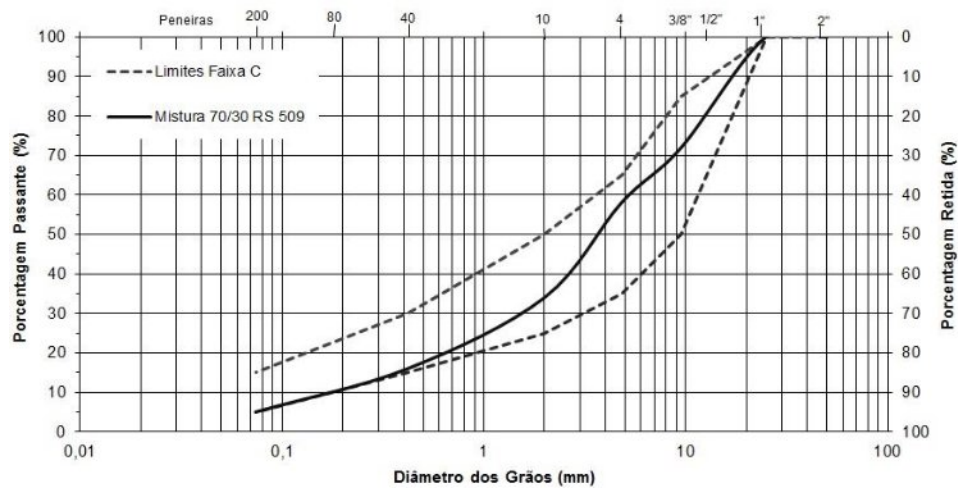
## RESULTADOS

### Estabilização granulométrica

Os Gráficos 1 e 2 apresentam o ajuste granulométrico necessário para uma composição de 30% de material virgem e 70% de material fresado asfáltico. A dosagem obtida para os ensaios teve como referência a Faixa A do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) da mistura com materiais da BR 290; e Faixa C da mistura com materiais da RS 509.



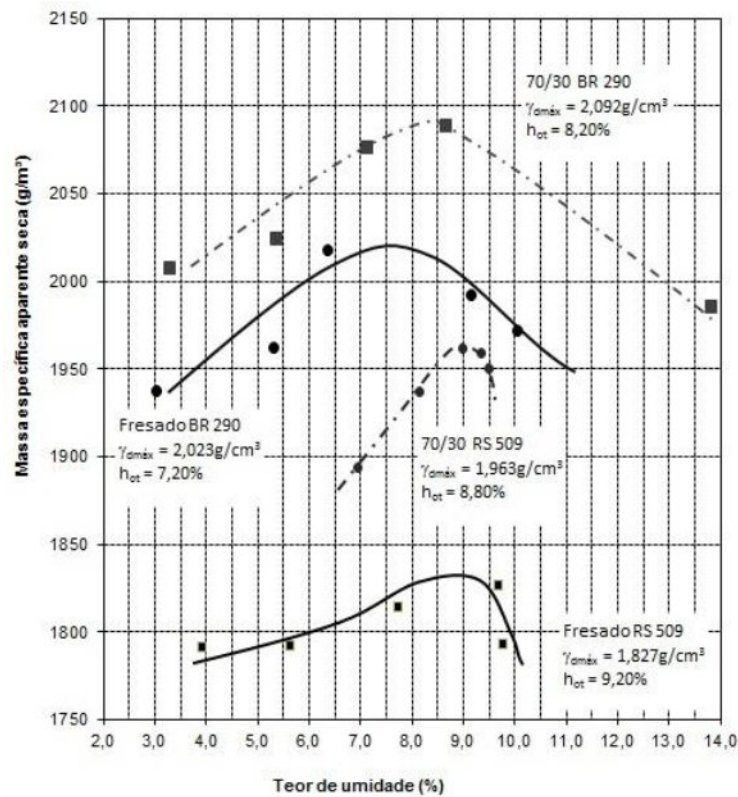
**Gráfico 2: Curva granulométrica da mistura RS 509**



## Ensaio de compactação

Nesta pesquisa três possibilidades de estabilização foram testadas, apenas compactando o material fresado (estabilização mecânica), corrigindo a granulometria com material virgem e compactando (estabilização granulométrica e mecânica) e corrigindo a granulometria com material virgem, adicionando cimento e compactando (estabilização granulométrica, química e mecânica).

**Gráfico 3: Curvas de compactação**



Duas curvas de compactação foram realizadas, uma do fresado e outra das misturas 70/30 (fresado + agregado). Para o caso da adição de cimento foram utilizados os mesmos parâmetros de compactação da curva 70/30 das misturas. As curvas de compactação estão apresentadas no Gráfico 3. A análise dos resultados das curvas e dos parâmetros de compactação dos materiais em estudo permite afirmar que a adição do material virgem preenche os vazios do fresado, o que é demonstrado pelo incremento do valor de  $y_{dm\acute{a}x}$ , tal aumento é extremamente benéfico uma vez que materiais com menores índices de vazios tendem a ter uma maior resistência ao cisalhamento e uma menor rigidez, o que é interessante do ponto de vista da aplicação em camada de pavimento.

## **CBR – California Bearing Ratio**

**Tabela 1: Ensaio de CBR**

<b>Material</b>	<b>Expansão</b>	<b>CBR</b>
Fresado BR 290	-0,22	56%
Fresado RS 509	-0,115	21%
Mistura 70/30 BR 290	-0,31	95%
Mistura 70/30 RS 509	-0,08	68%

Os resultados dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia, apresentados na Tabela 1, indicam para o material fresado um CBR de 56% e 21%. Estes valores são típicos de solos grossos, pedregulhosos, do grupo G da classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) ou ainda dos grupos A1 e A2 da classificação do TRB (Transportation Research Board). Materiais com CBR nesta ordem de grandeza são, tipicamente, utilizados como sub-base (a exigência vigente é que o CBR seja maior que 20% e expansão inferior a 1%).

A análise dos resultados é sempre realizada a partir do material tradicional, neste caso a BGS, e este material, produzido a partir do fresado, possui peculiaridades que dificilmente serão reproduzidas em laboratório. Isso aponta para a necessidade de aplicações práticas em seções testes e pistas experimentais.

Para o caso do material fresado estabilizado granulometricamente os valores de CBR ficaram em 68% e 95%; os resultados mostram que a técnica foi bastante eficiente abrindo inúmeras possibilidades de utilização como camada de pavimento. Conforme preconizado pelo método de projetos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) de 1981, para utilização como base granular de pavimentos o valor de CBR deve ser maior que 80% e expansão menor que 0,5%. Para o caso de rodovias com tráfego menor que  $10^6$  repetições do eixo padrão, para o período de projeto considerado, há a possibilidade de utilizar materiais com CBR maior ou igual a 60%.

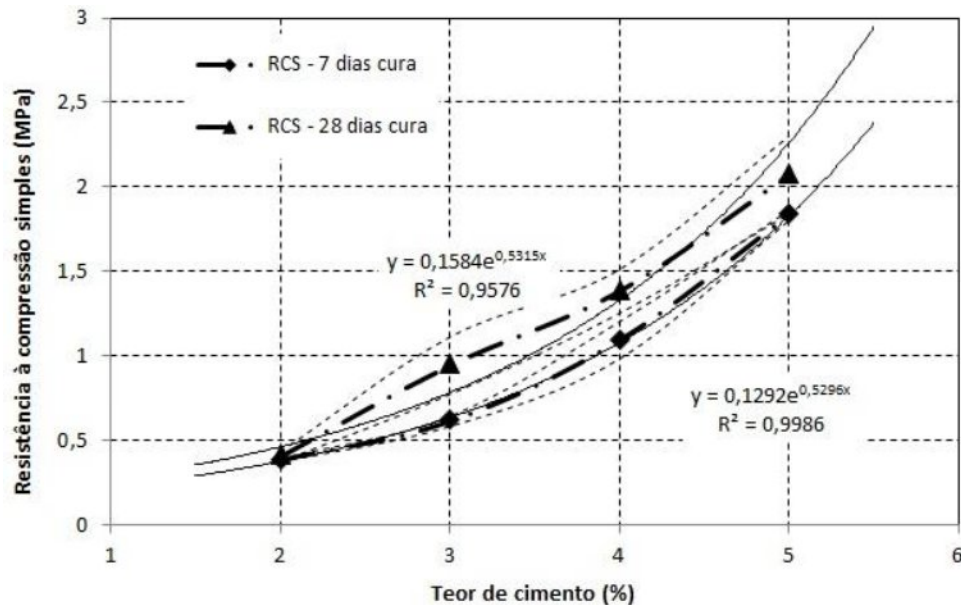
## **Resistência à compressão simples (RCS)**

A RCS (Resistência à compressão Simples) é uma medida bastante utilizada em diversas aplicações de Engenharia Civil, mesmo em casos onde sabidamente os esforços mais importantes não são de compressão, mas têm proporcionalidade a esta medida. No caso de solo cimento ou

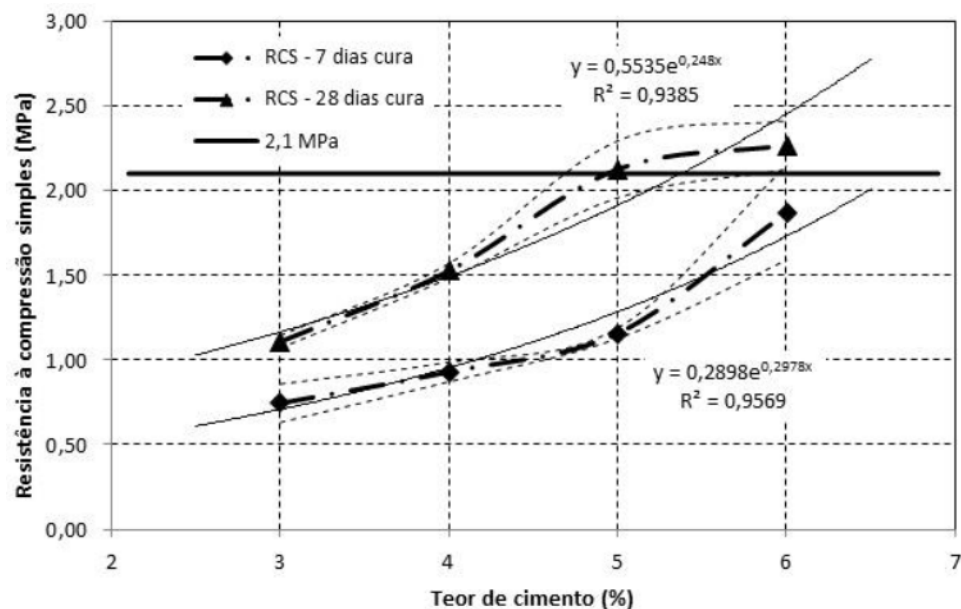
materiais estabilizados para base de pavimento, a medida de CBR, empregada para solos e materiais granulares, é substituída pela RCS.

As amostras foram preparadas uma a uma e aquelas com 2% de cimento romperam-se no processo de desmoldagem, por este motivo que para a mistura 70/30 RS 509, 2% de adição de cimento foi substituída por 6%. Após a desmoldagem foi possível observar o aspecto visual das amostras, observou-se a homogeneidade dos corpos de prova, corroborando com o baixo desvio padrão observado nos resultados de RCS. Os Gráficos 4 e 5 apresentam os resultados obtidos no ensaio de RCS, podendo notar o aumento de resistência dos 7 para os 28 dias de cura.

**Gráfico 4: RCS – Mistura BR 290**



**Gráfico 5: RCS – Mistura RS 509**





Segundo as normas brasileiras que acercam sobre solo-cimento, o teor de cimento adotado deve ser aquele cuja resistência média à compressão simples seja igual ou superior a 2,1MPa aos sete dias. Segundo tal prescrição o teor de cimento que deveria ser empregado, sem margem operacional, seria de 5,26% para Mistura BR 290; e 6,65% para Mistura RS 509. No caso de implantação de uma rodovia e dependendo das condições, é aceitável que ao invés de 7 dias de cura seja considerado 28 dias, quando as reações de cimentação estariam chegando a um patamar de estabilização e, neste caso, o teor de cimento seria de 4,86% e 5,37%. Em ambos os casos o teor de cimento é elevado e considerando que está sendo trabalhado com 30% de material virgem proveniente de britagem, o aspecto econômico deve ser avaliado cuidadosamente.

### **Resistência à tração por compressão diametral (RTCD)**

Como citado anteriormente, para este ensaio o teor de cimento utilizado seria determinado pelo ensaio de RCS. Sendo assim, o teor utilizado para os CP's de RTCD e MR foi de 5,37%, explicado no ensaio de RCS como sendo o teor que atingiu 2,1 MPa aos 28 dias de cura.

**Tabela 2: Ensaio de RTCD**

<b>Mistura 70/30 RS 509</b>	<b>RTCD (Mpa)</b>
7 dias de cura	0,224
28 dias de cura	0,339

Para efeito de comparação, obtivemos um acréscimo de 51,3% na resistência à tração por compressão diametral dos 7 para os 28 dias de cura, fortalecendo cada vez mais a eficácia do cimento Portland CP IV – 32 e o seu ganho de resistência em idades avançadas.

### **Módulo de Resiliência (MR)**

O método de dimensionamento de pavimentos norte-americano estabelecido pela AASHTO na versão de 1986 (com revisão em 1993) substituiu o ISC pelo módulo de resiliência do subleito na expressão do dimensionamento e também considerou esse parâmetro no cálculo dos coeficientes estruturais dos materiais asfálticos. Com isso, o módulo de resiliência foi reconhecido como de grande importância no dimensionamento de estruturas de pavimentos asfálticos.

Ao trabalharmos com amostras cimentadas, realizar o ensaio de CBR se torna inviável, o que se mostra interessante obtermos resultados de MR, apresentados a seguir na Tabela 3. O aumento do valor de MR de 7 para os 28 dias de cura foi de aproximadamente 15,5%.

**Tabela 3: Ensaio de MR**

<b>Mistura 70/30 RS 509</b>	<b>RTCD (Mpa)</b>
7 dias de cura	6122
28 dias de cura	7070

## **CONCLUSÕES**

A partir do que foi exposto e apresentado é possível estabelecer as seguintes considerações:

- as técnicas de reciclagem de pavimentos e as experiências apresentadas, aliadas à necessidade de incorporar aspectos ambientais e econômicos aos projetos rodoviários, incentiva e motiva iniciativas de utilização do material fresado como um material de construção nobre e capaz de substituir os materiais tradicionais em diversas camadas do pavimento asfáltico;
- o material fresado estabilizado mecânicamente indicou CBR de 56% e 21%, enquanto que o material fresado estabilizado granulometricamente chegou a 95% e 68%, valores compatíveis com materiais granulares utilizados em camadas de pavimento;
- os resultados do material fresado estabilizado quimicamente cumprem os requisitos normativos com um teor de cimento ao redor de 5%, o que, dependendo da obra e da matriz de custos, pode não ser a alternativa mais interessante.

Desta forma, e suportado pelos resultados laboratoriais apresentados, torna-se importante a realização de seguimentos experimentais, principalmente com o material fresado estabilizado mecanicamente e granulometricamente, que aliam de maneira inquestionável o quesito técnico e econômico.

## **AGRADECIMENTOS**

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa CAPES, nível de mestrado. O segundo autor agradece ao MEC-Sesu pela bolsa PET.

## **REFERÊNCIAS**

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5736: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991. 6p.
- Asphalt Recycling and Reclaiming Association - ARRA. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book. U.S. Department of Transportation, FHWA-SA-98-042, Washington, D.C. Dezembro, 1997.
- Bernucci, L.; Motta, L. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2008. 504 p. Incluindo Bibliografia. Patrocínio Petrobrás.
- Brosseaud, Yves. Reciclagem de misturas asfálticas: Evolução após 20 anos e a situação atual na França. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, 2011, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2011.
- Gencer, Selim E.; et al. A new method for hot recycling of asphalt. In: 5TH EURASPHALT & EUROBITUME CONGRESS, 2012, Istanbul. Anais... Istambul, Turquia, 2012.
- Ingles, O. G.; Metcalf, J. B. Soil Stabilization: Principles and Practice. Butterworths, Melbourne, 1972. 374p.
- Yoder, E. J.; Witzak, M. W. Principles of Pavement Design. New York: John Wiley & Sons Inc., ed. 2, 1975. 711p.