

# **UTILIZAÇÃO DO PÓ DE BORRACHA DE PNEU RECICLADO EM MISTURAS BETUMINOSAS PARA PAVIMENTAÇÃO URBANA E RODOVIÁRIA**

**FAZIO, José A. (1); OLIVEIRA, Sérgio A. G. (2)**

(1) Eng. Civil, Mestre em Geotecnia

Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP

Divisão de Apoio Técnico – DIATEC

Setor de Áreas Públicas Sul – lote B – CEP 71215-000

Brasília - DF

(2) Eng. Civil, Mestre em Geotecnia

Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP

Seção de Apoio Técnico Geral – SEAT

Setor de Áreas Públicas Sul – lote B – CEP 71215-000

Brasília - DF

## **RESUMO**

O pó de borracha, oriundo da trituração dos pneus usados, vem sendo incorporado em misturas betuminosas para pavimentos rodoviários em vários países da América do Norte e Europa. No Brasil, algumas experiências, laboratoriais e de campo, já foram feitas. O objetivo deste trabalho é estudar em laboratório o comportamento tenso-deformacional das misturas de concreto betuminoso usinado a quente - CBUQ.

Foram executados os ensaios tradicionais e os ensaios dinâmicos de compressão diametral e o de resistência à tração indireta. Estes dois últimos foram executados no laboratório de geotecnia da COPPE-UFRJ.

Os resultados encontrados demonstram que as misturas tornam-se mais resistentes aos processos de fissuração e também mais dúcteis. A estabilidade Marshall diminuiu mas mantêm-se em níveis aceitáveis para as capas de rolamento. A literatura afirma que a utilização de pó de borracha de pneu, além de dar uma maior durabilidade nas misturas betuminosas, possibilita uma diminuição significativa na produção de ruídos. Desta forma pode-se concluir que esta opção é recomendada tanto pelo aspecto tecnológico como pelo aspecto ambiental.

## **ABSTRACT**

Rubber powder, derived from grinding of old tires, have often been incorporated on bituminous mixtures to road pavements in countries in North America and Europe. In Brazil, experiments both in laboratory and field have been done along the last years. This paper deals with the stress-strain behavior of bituminous concrete mixtures by means of laboratory testing.

The study was conducted by means of laboratory testing program comprised of conventional and dynamic tests. Tension tests were also performed by using the Brazilian testing procedure. Dynamic and tension tests were performed in the laboratory of geotechnique of COPPE/UFRJ.

The results obtained show that the inclusion of rubber powder in a bituminous mixture increase both its strength to cracking and ductility. The Marshall stability decreases but remains on acceptable values for a pavement cover. The literature affirm that the use of rubber powder, derived from tires, results in a significant decrease on noise production. Based on these results it is concluded that the use of rubber powder deserves additional studies from both technical and environmental aspects.

## **1. INTRODUÇÃO**

A história mostra que a utilização de pneu como material reciclável teve seu início na década de 40 nos Estados Unidos, sendo hoje o seu uso bastante difundido em vários países, tais como Canadá, Espanha, EUA e com uso bastante promissor no Brasil. A recuperação de energia e a recauchutagem foram as primeiras formas de reciclagem de pneus. Com o avanço tecnológico, surgiram novas aplicações, como a mistura com asfalto, em concentrações de 15 a 25%, e como mistura aos agregados para ser utilizado em misturas asfálticas, sendo esta última sugerida por alguns países como uma das melhores soluções para dar um destino final aos pneus. Este tipo de resíduo, no entanto, constitui um problema para o meio ambiente, principalmente, pela dificuldade de eliminação de gases, e por seu acúmulo favorecer a propagação de pragas, além do aumento do risco de incêndios.

Segundo a empresa Relastomer, cerca de 300 mil toneladas de pneus estão disponíveis no Brasil, mas apenas 10% destes materiais são reciclados. No Rio de Janeiro, os pneus e artefatos de borracha em geral correspondem a 0,5% do lixo urbano. A recauchutagem, que no Brasil atinge 70% da frota de transporte de carga de passageiros, é outro importante meio para reduzir esse tipo de resíduo. O material procedente da recauchutagem é transformado em pó de borracha e purificado por um sistema de peneiras.

## **2. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO**

O Distrito Federal tem uma malha viária estimada em 3100 Km, dos quais apenas cerca de 1500 Km estão pavimentados, pode-se afirmar que com o processo de crescimento econômico da região, torna-se óbvia a conseqüente necessidade de ampliação e conservação da malha rodoviária. Com isso, tem-se aumentado a carência de materiais destinados às obras de pavimentação, tornando obrigatório a busca de soluções alternativas.

Os nossos pavimentos, geralmente, apresentam problemas desde os materiais componentes da base, assim como os utilizados como revestimento. Tradicionalmente, os pavimentos executados no Distrito Federal são, predominantemente, constituídos por base e sub-base de solos confeccionados (laterita), revestido com concreto betuminoso

usinado a quente (CBUQ). Entre os principais problemas apresentados pelos revestimentos de Brasília estão o desgaste acentuado dos materiais, a falta de aderência (atrito entre os pneus e o revestimento) e a elevada projeção de água proveniente da água existente na pista em contato com os pneus do veículo, ocasionando uma manutenção preventiva, principalmente em período de chuva. Com o intuito de melhorar algumas destes problemas, pretende-se apresentar resultados de trabalhos desenvolvidos na DIATEC, no laboratório de asfalto da NOVACAP, utilizando material proveniente do processo de reciclagem de pneu em forma de pó e adicionados aos agregados, para compor misturas de concreto betuminoso usinado a quente. Este projeto tem como finalidade o desenvolvimento de materiais alternativos na busca de soluções para os problemas de revestimento asfáltico dos pavimentos da região do Distrito Federal, além de dar um destino adequado aos pneus, material de difícil degradação e com isso ajudando a manter o meio ambiente mais estável.

### **3. DESCRIÇÃO DO ESTUDO**

Inicialmente foram realizados ensaios de laboratório em amostras de agregado e pó de pneu, com a finalidade de caracterizar tais materiais. Em seguida, com as curvas granulométricas definidas, procurou-se enquadrá-lo em uma das faixas de trabalho do DNER, e vários traços de concreto betuminoso usinado a quente - CBUQ foram fabricados com e sem adição de pó de pneu. Em cada corpo de prova foram realizados ensaios de peso específico, estabilidade Marshall e fluência.

#### **3.1 Uso do Pó de Borracha de Pneu em Pavimentação**

Entre as várias formas de utilização do pó de pneu de borracha como material reciclável, pode-se citar:

- Geração de energia elétrica através de sua combustão,
- Utilização na recauchutagem,
- Como integrante de misturas betuminosas para a construção de pavimentos flexíveis,
- Construção de tapetes.

Das aplicações anteriores, a que tem maior possibilidade de consumir grandes quantidades deste tipo de resíduo são as misturas betuminosas para rodovias. No qual a borracha, após passar por um processo tecnológico, chega ao tamanho granular, depois de eliminado os componentes não desejados, tais como as fibras têxteis e metálicas. O pó de borracha de pneu pode ser utilizado de duas maneiras:

- Como modificador de ligante, no qual permite várias aplicações, tais como:
  - tratamentos superficiais;
  - membranas para capas de rolagem;
  - membranas absorventes de tensões entre capas;
  - selante de juntas.
- Como material incorporado aos agregados.

O pó de pneu é incorporado aos agregados utilizando-se o procedimento por via seca e se emprega exclusivamente nas misturas a quente. Nesta pesquisa será utilizado o pó de

pneu incorporado aos agregados antes de se adicionar o cimento asfáltico de petróleo - CAP.

Segundo HICKS (1983), há uma série de vantagens quando aplica-se pó de pneu de borracha como agregado miúdo em misturas betuminosas, entre elas pode-se citar:

- melhorar o meio ambiente, pois desfaz-se de um resíduo incômodo de uma maneira segura;
- redução do nível de ruído, provocado pela passagem dos veículos;
- menor possibilidade de produzir o fenômeno de deslizamento em presença de água no pavimento;
- diminuir os salpicos de água gerado pela passagem do veículo sobre a pista molhada;
- para granulometrias descontínuas, a macroestrutura da mistura é muito boa, favorecendo o contato entre o pneu e o pavimento.

### **3.2 - Efeito da Granulometria do Pó de Pneu nas Misturas Betuminosas**

Segundo OLIVER (1981), a capacidade de recuperação elástica das misturas betuminosas com incorporação de pó de pneu e CAP, aumenta à medida que o tamanho dos grãos diminui. Este sugere que pode ser devido a diferença nas formas das partículas, já que as maiores têm superfícies específicas menores, enquanto as pequenas são mais rugosas e porosas.

Segundo DAVID (1996), o efeito da granulometria do pó de borracha de pneu reciclado, depende do tipo de aplicação. As partículas finas, que passam na peneira número 10, são adicionadas porque elas tendem a inchar e dispersar no betume, produzindo um aumento na viscosidade da mistura, que favorece a criação de interfaces estáveis com o CAP, enquanto as partículas grossas atuam como um agregado elástico na mistura.

### **3.3 - Procedimento de Ensaio Utilizando Pó de Pneu Como Agregado**

Neste trabalho os grãos de pó de pneu foram incorporados aos agregados substituindo-se parte da areia por borracha, e em seguida adicionando-se o CAP. Nas misturas, os agregados foram aquecidos a temperatura de 165<sup>0</sup>C e em seguida adicionado o pó de borracha. Estes materiais, agregados-borracha, foram misturados por um tempo de aproximadamente 3 minutos para que fosse efetivada sua mistura e ao mesmo tempo ocorra o inchamento da borracha. No projeto de mistura foi utilizado o método Marshall, onde cada corpo de prova recebeu 75 golpes por face, seguindo a especificação ES 313/97 do DNER. Após a moldagem os corpos de prova foram deixados em repouso dentro dos moldes por 24 horas e nesse intervalo de tempo observou-se que os mesmos não apresentavam nenhuma expansão. Também pode-se observar que no momento da moldagem não houve repique, com exceção dos corpos de prova com 6,0% de pó de pneu.

## **4. RESULTADOS E ANÁLISE**

Alguns resultados dos estudos preliminares executados no laboratório de asfalto da NOVACAP são apresentados a seguir. Nesta fase foram utilizados os seguintes materiais, areia lavada, pó de pedra, pedrisco, brita, pó de borracha e cimento asfáltico de petróleo (CAP) com penetração 50/60. Na Figura 4.1 pode ser visto em forma de gráfico, as curvas granulométricas dos materiais utilizados nesta pesquisa.

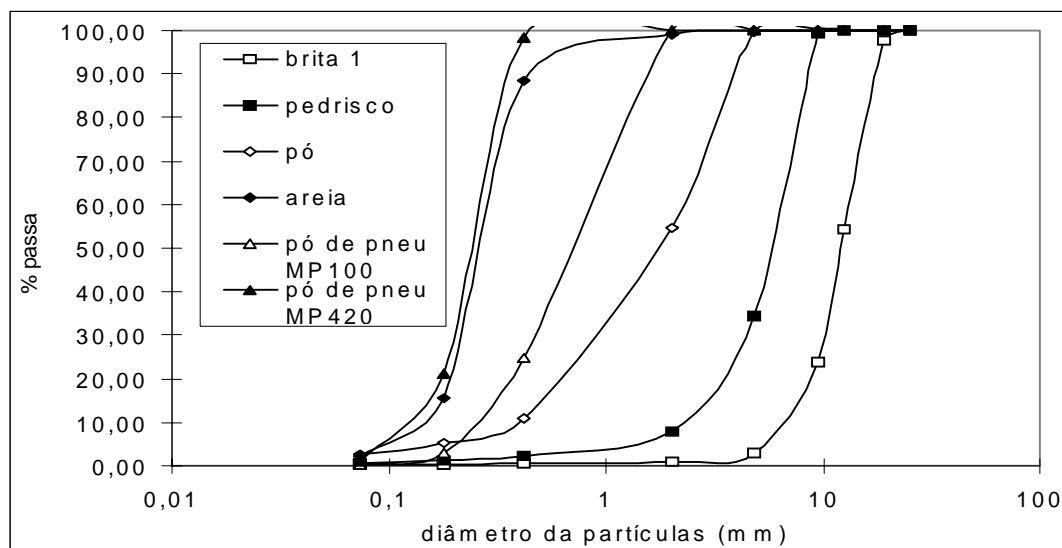


Figura 4.1 - Curvas granulométricas dos agregados.

Com estes materiais foram moldados vários traços de CBUQ, utilizando-se pó de pneu nas seguintes porcentagens: 0,0; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 %. O traço convencional, ou seja, com 0,0% de pó de pneu, é composto de 10% de brita 1, 30% pedrisco, 45% de pó de pedra e 15% de areia, para os demais traços retirou-se areia e acrescentou-se a mesma porcentagem de pó de pneu em partes iguais.

Terminado o ajuste da quantidade de agregados, é necessário determinar qual a % de ligante que proporciona a mistura melhores características mecânicas ao projeto. A seguir, são apresentados na Tabela 4.1 os resultados do ensaio Marshall com as porcentagens de pó de borracha discriminadas acima, quanto a porcentagem de vazios, relação betume-vazios, densidade aparente, estabilidade Marshall e fluência.

Tabela 4.1 - Resumo dos resultados do ensaio Marshall.

CBUQ	% Pó de pneu	% CAP	% Vazios	RBV (%)	Densidade aparente	Estabilidade Marshall (Kgf)	Fluência 1/100"
Conv.	0.0	5,5	7,01	64,2	2,310	532	13
		6,0	5,47	71,7	2,330	662	15
		6,5	4,18	78,3	2,344	775	15
N. Conv.	1.0	5,9	6,99	63,5	2,287	600	14
		6,4	5,35	68,0	2,310	662	15
		6,9	4,15	69,0	2,300	580	16
N. Conv.	2.0	5,9	10,19	56,0	2,218	372	15
		6,4	7,66	65,2	2,263	516	15
		6,9	7,04	68,7	2,260	362	16
N. Conv.	4.0	5,9	11,14	53,5	2,194	336	16
		6,4	9,20	60,5	2,225	353	17
		6,9	12,45	53,9	2,129	180	18
N. Conv.	6.0	5,9	13,50	45,0	2,141	200	17
		6,4	11,80	53,7	2,161	250	18
		6,9	14,54	49,4	2,078	103	19

OBS: Conv. - Traço de CBUQ convencional.

N. Conv. - Traço de CBUQ utilizando pó de pneu.

As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam em forma de gráfico os valores de porcentagem de vazios, relação betume vazios (RBV), densidade aparente e estabilidade Marshall em função da quantidade de CAP.

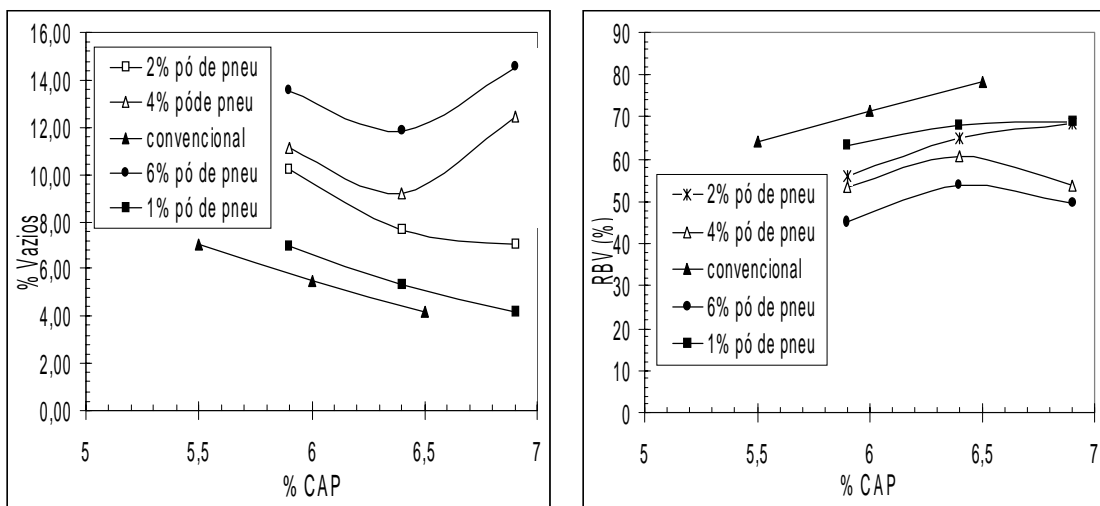


Figura 4.2 - Porcentagem de vazios e RBV em função da porcentagem de CAP.

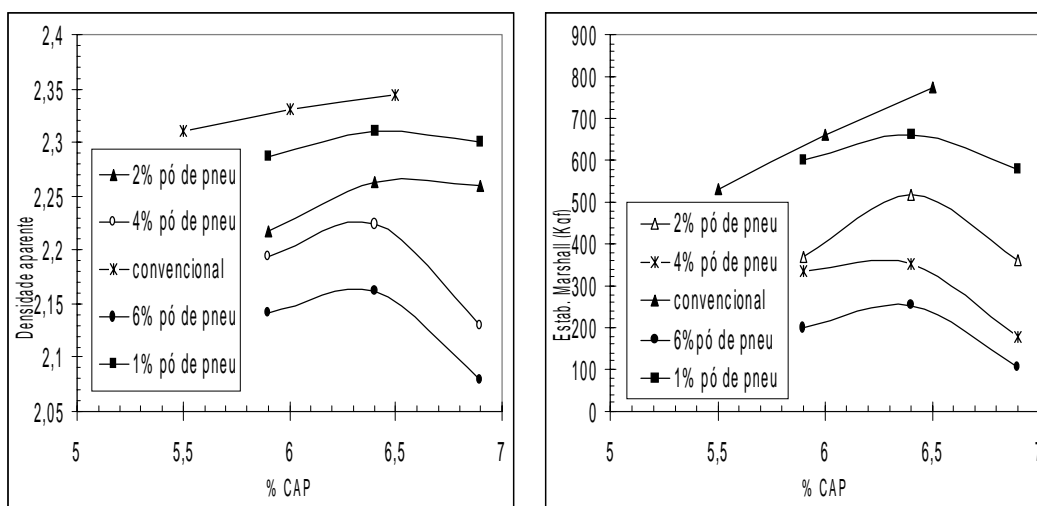


Figura 4.3 - Densidade aparente e estabilidade Marshall em função da porcentagem de CAP.

De acordo com as Figuras 4.2 e 4.3, observa-se que a medida que se incorpora pó de borracha nas misturas betuminosas de CBUQ há um aumento no índice de vazios, uma diminuição na RBV, um decréscimo na densidade aparente e uma redução no valor da estabilidade Marshall. Também observa-se que para o traço convencional o teor ótimo de ligante betuminoso está entre 6,0 e 6,5 % de CAP e os valores de porcentagem de vazios, RBV e estabilidade Marshall estão dentro dos limites especificados pelo D.N.E.R.. Na determinação dos teores ótimo de ligante betuminoso para os traços de CBUQ utilizando pó de pneu, observa-se que para satisfazer as especificações do DNER, o traço de CBUQ que apresentou melhor resultado é aquele que teve incorporado na mistura 1% de pó de borracha, sendo que o teor ótimo de CAP está entre 6,2 e 6,7%.

Utilizando-se os mesmos materiais, foram moldados 16 C.P.<sup>s</sup> nas mesmas condições e levados ao laboratório de geotecnia da COPPE para serem realizados os ensaios de módulo resiliente por compressão diametral e tração indireta. Estes corpos de prova foram moldados com as seguintes porcentagens de pó de pneu: 0,0; 1,0; 2,0 e 4,0%. Para cada porcentagem foram moldados 04 (quatro) C.P.<sup>s</sup>. Inicialmente, realizaram-se os ensaios cíclicos de compressão diametral para determinar o módulo resiliente, aos quais os corpos de prova não foram levados a ruptura, em seguida o ensaio de tração indireta. Na Tabela 4.2 apresentam-se os resultados destes ensaios.

Tabela 4.2 - Resultado dos ensaios de módulo resiliente por compressão diametral e tração indireta.

C.P.	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	M.R. (MPa)	M.R. médio (Mpa)	Tração indireta (Kgf/cm <sup>2</sup> )	OBSERVAÇÕES
01	6,32	10,18	4903	5298	8,9	CBUQ 6,4% CAP Faixa C do DNER
02	6,25	10,26	5502		9,3	
03	6,26	10,21	5364		10,3	
04	6,36	10,21	5421		9,3	
05	6,30	10,18	3005	3304	6,4	CBUQ 6,4% CAP Faixa C do DNER 1,0% de pó de pneu
06	6,30	10,18	3021		6,9	
07	6,24	10,17	3677		7,3	
08	6,37	10,18	3512		7,1	
09	6,51	10,17	2727	2688	6,1	CBUQ 6,4% CAP Faixa C do DNER 2,0% de pó de pneu
10	6,54	10,17	2684		5,9	
11	6,58	10,16	3096		5,9	
12	6,40	10,20	2245		5,9	
13	6,94	10,18	1434	1546	3,3	CBUQ 6,4% CAP Faixa C do DNER 4,0% de pó de pneu
14	6,78	10,18	1693		3,3	
15	6,82	10,17	1692		3,4	
16	6,69	10,18	1364		3,6	

De acordo com a Tabela 4.2 verifica-se que com a substituição de pó de pneu por areia e com o acréscimo de pó, ocorre uma redução no valor do módulo resiliente e da tração indireta e um aumento da altura dos corpos de prova.

Quando compara-se os valores dos ensaios de estabilidade Marshall com os de tração indireta, para a porcentagem de CAP de 6,4%, verifica-se que os valores de estabilidade são cerca de 100 vezes os valores de tração indireta para as unidades indicadas. Segundo contatos pessoais com a Prof. Motta estes valores estão coerentes com estudos desenvolvidos no laboratório de geotecnia da COPPE.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que a incorporação de pó de pneu em misturas betuminosas contribuem para dar um destino final a este tipo de resíduo, mostrando a preocupação da NOVACAP com problemas ambientais. Além de eliminar o transtorno causado pelo seu acúmulo e degradação ao meio ambiente

Baseado nos estudos preliminares de laboratório, conclui-se que os resultados dos ensaios de CBUQ, dinâmico para determinar o módulo resiliente e tração indireta utilizando amostras com incorporação de pó de pneu apresentam bons resultados, o que torna viável a continuidade deste estudo tanto em laboratório quanto em campo, sendo também interessante a realização destes ensaios utilizado-se um CAP mais duro.



Os resultados mostram que a porcentagem de CAP ótima, comparando-se os traços de CBUQ com incorporação de pó de pneu de 0,0 e 1,0% estão bastante próximos, ou seja, 6,2 e 6,4% respectivamente.

Utilização de programas computacionais que levem em consideração o módulo resiliente do material devem ser utilizados visando otimizar o dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Em campo há a necessidade de se construir trechos experimentais para verificar a sua adequabilidade com os estudos de laboratório e de dimensionamento utilizando programas computacionais.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

DAVID, G. H. Estudio Sobre el Diseño y Construcción de Mezclas Bituminosas en Caliente Com Granos de Caucho Reciclado, Empleando Husos Granulometricos Españoles. **Tesis Doctoral**, ETSECCP de Barcelona, noviembre de 1196.

DNER, **Especificação de Serviço ES 313/97**, Pavimentação - Concreto Betuminoso, 16p.

HICKS, R. G. Effect of Material Variables on Mix Modulus and Fatigue. **Department of Civil Engineering**, Oregon State University, july 1983.

OILVER, J. W. Research on Asphalt-Rubber at the Australien Road Research Board. **Proceedings of National Seminar on Asphalt-Rubber**, october 1981, p 241-256.