

# RECICLAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO COM UTILIZAÇÃO DE USINA PROTÓTIPO EM ESCALA REDUZIDA

**Ana Carolina da Cruz Reis**

Mestranda em Engenharia de Transportes – IME

**Antônio Carlos Rodrigues Guimarães**

Prof. D.Sc, Instituto Militar de Engenharia – IME

## RESUMO

No presente trabalho são apresentadas características técnicas de composição e operação de uma usina protótipo em escala reduzida, desenvolvida para usinagem de concretos asfálticos. Trata-se de um novo equipamento dimensionado em escala reduzida do tipo misturador circular contendo placas de aquecimento na parte inferior, denominado J-1000. Foi desenvolvido um estudo em laboratório para o traço I moldado em campo e um para o traço II moldado em laboratório, sobre a dosagem de concreto asfáltico contendo material fresado, CAP-polímero, filer (cimento/cal) e borracha moída de pneu, sem a adição de novo material pétreo. São apresentados dois resultados de dosagens da mistura, sendo o primeiro moldado em campo e outro na usina protótipo em escala reduzida e contendo agregados usualmente empregados na pavimentação junto à cidade de Três Rios/RJ. São apresentados resultados do enquadramento granulométrico da mistura reciclada, resistência à tração estática (RT) e módulo resiliente (MR). Mostra-se que a usina protótipo em escala reduzida é capaz de produzir mistura asfáltica reciclada com qualidade satisfatória, podendo ser empregada até mesmo por prefeituras de pequenas cidades brasileiras.

## ABSTRACT

This paper describes the techniques characteristics of composition and operation of a prototype asphalt plant in reduction scale, developed for process of asphalt concrete. This is a new equipment in reduction scale that the type is circular mixer containing heating plates at the bottom, and called J-1000. A laboratory study and field study was developed about the asphalt concrete dosage that containing asphalt pavement recycling, asphaltic cement of polymer, cement and grinded tire rubber, without the addition of new stone material. Two results of the mix dosage are presented and the first being obtained in the laboratory and the other obtained in the prototype asphalt plant in reduction scale, and it contains aggregates usually used to pavement construction in Three Rivers city, RJ/Brazil. The results of framework of the recycled mix granulometry, statics traction (RT) resistance and resilience modulus are shown. It shown that the prototype asphalt plant in reduction scale is able to produce recycled asphalt mixture with satisfactory quality, and can be used in tropical countries in Brazil.

## 1 INTRODUÇÃO

O Asfalto é dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos e um dos mais antigos também. Na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006).

No Brasil os anos de 1985 e 1986 foram marcos na tentativa de introdução dos processos de reciclagem de misturas asfálticas a quente, com obras da Via Anhanguera (SP), com emprego de fresagem a frio e reciclagem a quente em usina central, e na Via Dutra, com emprego de equipamentos de pré-aquecimento, fresagem e reciclagem, completamente *in situ*. Não há evidências, ao menos na expansão de normativos a partir de 1988, que tal processo, de grande interesse ambiental nos países mais evoluídos tecnologicamente, tenha ampliado espaço no país, a menos de esporádicas experiências não documentadas em vias urbanas, com introdução de fresados em usina misturadora, ou rodovias, com reciclagem *in situ* (Balbo e Bodi, 2004).

Na tentativa de reduzir passivos ambientais e incorporar as vantagens de um polímero ao ligante asfáltico, o presente estudo trás como inovação o dimensionamento de uma usina protótipo em escala reduzida, nomeada J-1000, que produz mistura asfáltica a partir de reciclagem de concreto asfáltico pelo processo de via seca.

As empresas modernas, notadamente as que operam sistemas complexos e com forte potencial de impactos ambientais, vêm procurando alcançar e manter um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) adequado aos seus propósitos econômicos, visando, assim, uma salvaguarda em relação aos problemas comerciais, financeiros e jurídicos que podem determinar enormes dificuldades para a consolidação ou a manutenção de suas posições no mercado, comprometendo seu crescimento e, até mesmo, sua sobrevivência (DNIT, 2006).

A Constituição Federal promulgada em 1988 contempla a questão ambiental, trazendo no artigo 225 a seguinte afirmação: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

No Brasil estudos e pesquisas vêm desenvolvendo e inovando técnicas de agregados alternativos na incorporação do asfalto, abrindo caminhos para que os mesmos sejam utilizados em obras de pavimentação por todo o país. No estado do Rio de Janeiro, a técnica que incorpora agregados alternativos na produção asfáltica, sobretudo vem sendo utilizada em diversas obras de estradas do estado, obtendo satisfatórios resultados que tem incentivado pesquisas ambientalmente corretas, com a busca de novas tecnologias e de agregados alternativos para a engenharia de pavimentação.

O objetivo deste trabalho é apresentar a inovação tecnologia de uma usina protótipo em escala reduzida, desenvolvida para usar reciclagem de concreto asfáltico (fresado) a quente. A reciclagem a quente utiliza Produto Asfáltico Fresado (PAF), proveniente de rodovias ou ruas com irregularidades na pavimentação, com adição de Cimento Asfáltico Petróleo (CAP) e borracha moída de pneu inservível (via seca), não necessitando de adição de outros materiais minerais, e filer. Essa tecnologia é favorável pelo baixo consumo de energia, facilidade de instalação e operação, usinagem de reciclagem asfáltica e conservação da temperatura da mistura apresentando satisfatórios resultados. É uma técnica sustentável, favorável a prefeituras de municípios do Brasil.

## **2. PAVIMENTO ASFÁLTICO**

Pavimento é definido como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras tais que construídas sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários conforto, economia e segurança nas condições de rolamento.

O pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios (Balbo, 2007).

Os pavimentos asfálticos, ou pavimentos flexíveis são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais, esquematizadas na Figura 2.1: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de subleito (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006).

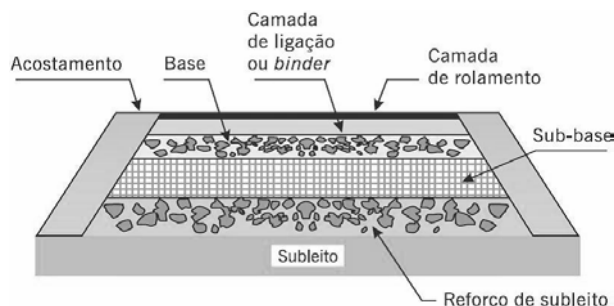


Figura 2.1: Esquema de pavimento flexível (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006)

A estrutura do pavimento é concebida, em seu sentido puramente estrutural, para receber e transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes, embora isso não seja tomado como regra geral. Para que funcione adequadamente, todas as peças que a compõe devem trabalhar deformações compatíveis com sua natureza e capacidade portante, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura inadvertida nos materiais que constituem as camadas do pavimento.

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água e pouco reativo. A característica de termoviscoelasticidade do CAP manifesta-se no comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade, ao tempo, e à intensidade de carregamento, e à temperatura de serviço.

### 3. MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS

Quando um pavimento asfáltico em uso se torna deteriorado estruturalmente, existe a necessidade de restaurar sua capacidade de carga através da adição de novas espessuras adicionadas de camadas ou através do corte de todo ou parte do revestimento deteriorado por equipamento especializado (fresadora) e execução de nova camada de revestimento asfáltico.

Os materiais fresados de misturas asfálticas são especialmente presentes em grandes e médias cidades, quando a restauração de pavimentos urbanos esbarra em exigências importantes quanto à alteamento do greide da plataforma viária, que causaria situações indesejáveis em especial com soleiras, guias e sarjetas, além de outras interferências. É possível que tenha ocorrido e venha ocorrendo, não oficialmente, um reaproveitamento dos fresados em parcela pequena na preparação de novas misturas asfálticas (Balbo e Bodi, 2004).

O material gerado no corte (vide Figura 3.1) pode ser ainda reaproveitado por reciclagem. Do ponto de vista ambiental, a reutilização de materiais faz-se desnecessário a exploração de novas fontes de matérias-primas, cumprindo ainda as premissas básicas da gestão ambiental, além de eliminar custos.



Figura 3.1: Pilha de material fresado na região de Três Rios/RJ

Entende-se por reciclagem de pavimentos 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 Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP) novos, quando necessários e também com adição de aglomerantes hidráulicos (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006).

A reciclagem integral, incluído o CAP envelhecido dos materiais removidos de revestimentos e camadas asfálticas de pavimentos existentes resultaria em diversas economias nos investimentos de infra-estrutura viária, como de materiais e de energia na produção dos materiais, além de resguardar aspectos ambientais como a preservação matéria - prima, até a minimização de reflexão de fissuras existentes para camadas de reforço colocadas sobre o pavimento existente (Peres e Balbo, 1998).

A fresagem é a operação utilizada para cortar o revestimento asfáltico, em parte ou todo, existente nas vias, por uso de máquinas especiais (máquinas fresadoras), ou até acoplando outra camada do pavimento, como forma de restauração da qualidade ao rolamento da superfície, ou da melhoria da camada de suporte, conforme mostrado na Figura 3.2. A reciclagem de concreto asfáltico vem sendo muito utilizada em obras de pavimentação tanto no Brasil como em todo o mundo, impulsionando frequentes estudos na área os quais tem apresentado resultados satisfatórios que têm contribuído para excelentes construções as quais agregam o fresado. Trata-se, portanto, de ao menos se investigar racionalmente como se empregar tal material, levando-se em consideração suas potencialidades.

Estudos laboratoriais recentes anteriormente realizados mostraram que, em termos de parâmetros de dosagem convencional e de ensaios de formação de trilhas de roda em laboratório, o acréscimo de 10% de material fresado a misturas asfálticas novas não incorria em alterações na potencial deformação plástica do material, possibilitando sua indicação, na pior das hipóteses, como material parcialmente reciclado para emprego em operações tapa-buraco (Garrido e Balbo, 1997).



Figura 3.2: Fresadora e serviço de fresagem em uma rodovia (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006)

Normalmente os agregados de uma mistura envelhecida mantêm as suas características físicas e de resistência mecânicas intactas, enquanto o ligante asfáltico tem suas características alteradas, tornando-se mais viscoso nessa condição. É possível reaproveitar totalmente o material triturado ou cortado pelas fresadoras e recuperar as características do ligante com a adição de agentes de reciclagem ou rejuvenescedores. A reciclagem pode ser feita (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006):

- a quente, utilizando-se CAP, agente rejuvenescedor (AR) e agregados fresados aquecidos;
- a frio, utilizando EAP, agente rejuvenescedor emulsionado (ARE) e agregados fresados à temperatura ambiente.

Pode ser realizada em (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006):

- usina, a quente ou a frio – o material fresado é levado para a usina;
- *in situ*, a quente ou a frio – o material fresado é misturado com ligante no próprio local do corte, seja a quente (CAP), seja a frio (EAP) por equipamento especialmente concebido para essa finalidade;
- *in situ*, com espuma de asfalto. Nesse caso pode ser incorporada ao revestimento antigo uma parte da base, com ou sem adição de ligantes hidráulicos, formando uma nova base que será revestida de nova mistura asfáltica como camada de rolamento.

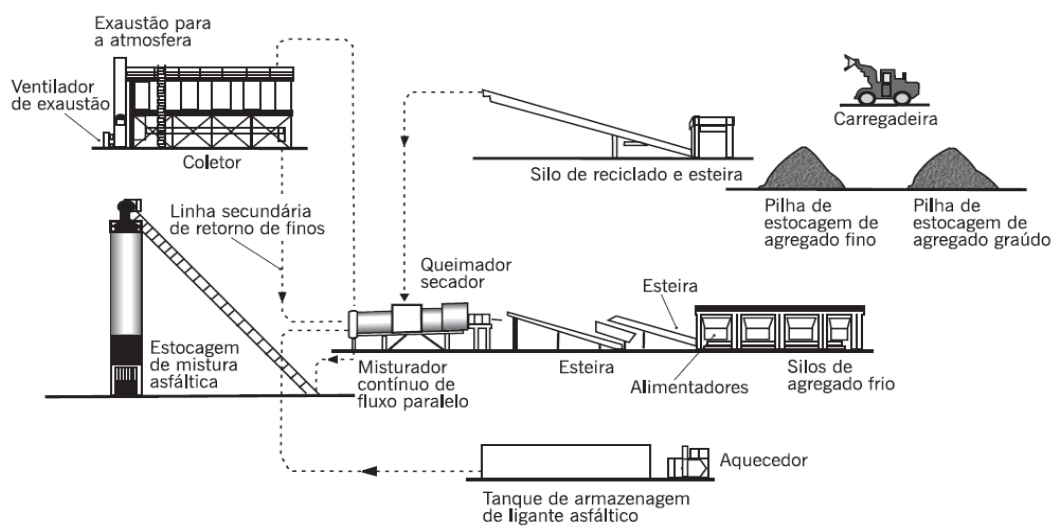
As técnicas utilizadas para reciclagem, sobretudo constituem um histórico de experiências no país. Existem especificações como a DNIT 033/2005 a e DNIT 034/2005 b que compreendem os requisitos a serem submetidos para reciclagem em usina ou reciclagem *in situ*.

#### 4. USINAS ASFÁLTICAS

O mercado de engenharia em um todo tem progredido em tecnologia e técnica, aperfeiçoando métodos já utilizados e conquistando métodos inovadores. O crescimento da área de engenharia de pavimentos, a execução de obras por todo o mundo e também no nosso país tem desencadeado uma crescente demanda de execução da mesma, a qual tem trazido instrumentos novos, equipamentos de pavimentação, que tem se destacado com tecnologias de ponta.

O bom desempenho de revestimento e de tratamentos superficiais asfálticos depende da utilização de procedimentos corretos em diversas etapas: projeto estrutural, escolha adequada de materiais e formulações de proporções ou misturas que atendam os condicionantes de uso do revestimento, e uso de técnicas adequadas de produção, distribuição e execução das camadas asfálticas na pista (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006).

A obtenção de uma mistura asfáltica envolve a associação de agregados com ligantes asfálticos em proporções predeterminadas no projeto de dosagem para produzir uma massa homogênea de acordo com especificações e critérios adotados. Antes da mistura com ligante asfáltico, o agregado deve ser composto na graduação especificada por meio de mistura de diferentes frações granulométricas. Se o ligante a ser misturado é um cimento asfáltico de petróleo, o agregado deve ser aquecido previamente para remoção de umidade e sua temperatura elevada para que seja possível o seu envolvimento pelo ligante asfáltico. Esses procedimentos são realizados em instalações apropriadas conhecidas como usinas de asfalto, simplificação da designação, visto que se trata de usinas para produção de misturas asfálticas a quente (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006).



**Figura 4.1:** Representação esquemática de uma usina asfáltica contínua (Bernuci, Motta, Ceratti e Soares, 2006)

#### 4.1. O Equipamento Desenvolvido

Nas Figuras 4.2 a 4.4 são apresentados alguns aspectos gerais do protótipo em escala reduzida denominado de J-1000, desenvolvido para pesquisas preliminares de reciclagem de asfaltos considerando o total reaproveitamento do material fresado. Este equipamento consiste, basicamente, de uma peça cilíndrica assentada sobre uma placa aquecedora cuja temperatura pode aumentar até, aproximadamente, 160° C, conforme pode ser visto nas Figuras 4.2.

Por se tratar de um equipamento protótipo a capacidade de produção se limita a 1tonelada/hora de material fresado. No seu interior um sistema de hastes giratórias de formas variadas, conforme mostrado na Figura 4.3, produz a homogeneização da mistura. A usina protótipo possui vantagens de fácil locomoção e instalação em canteiros de obras, viabilizando a produção e manejo da massa asfáltica a produzir. O protótipo é alimentado por energia elétrica.



**Figura 4.2:** Aspecto Geral e Interior do Protótipo em Escala Reduzida



**Figura 4.3:** Vista das Palhetas Misturadoras e Aspecto Homogêneo da Mistura Obtida com o Equipamento J-1000

Na sequência de operações, a amostra de material fresado é primeiramente introduzida com o equipamento previamente ligado, sendo ao mesmo tempo homogeneizada e aquecida. Nesta fase de aquecimento, é possível verificar que parte do ligante que envolve o agregado fresado começa a se descolar da mistura.

Em seguida é adicionado à mistura o fíler (cimento ou cal), a borracha moída de pneu inservível e, por fim, o CAP-polímero que foi aquecido à temperatura de projeto em um dispositivo anexo ao equipamento J-1000. Todos os compostos são misturados, por um período curto de tempo, média de trinta minutos, a fim de garantir a homogeneidade da massa, resguardando-a, a fim de manter a temperatura adequada, a qual é descarregada do equipamento por gravidade através de um dispositivo de descarte localizado na parte inferior da placa.

Nos testes executados, em campo (traço I) e em laboratório (II), foram moldados corpos - de - prova os quais foram submetidos a ensaios de Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) os quais seguiram os procedimentos preconizados pelos métodos de ensaio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

135/2010 a; DNIT 136/2010 b), com os corpos-de-prova a uma temperatura de 25° C, apresentados no item 5. Além da elaboração dos corpos-de-prova, um pequeno remendo com a mistura (traço II) foi realizado, conforme ilustrado na Figura 4.4, podendo ser observada boa aparência do material.



**Figura 4.4:** Aspecto da mistura reciclada compactada e alavanca do dispositivo de descarte da massa

## 5. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consistiu na elaboração de dois traços de concretos asfálticos contendo material fresado, borracha moída de pneu inservível, CAP-polímero e filer (cal ou cimento), tendo sido considerada a faixa granulométrica “C”. Com emprego de molde e soquete Marshall, de acordo com especificação do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER-ME 043/95 (DNER, 1995) aplicando-se 75 golpes por face e temperatura de compactação de 160°C.

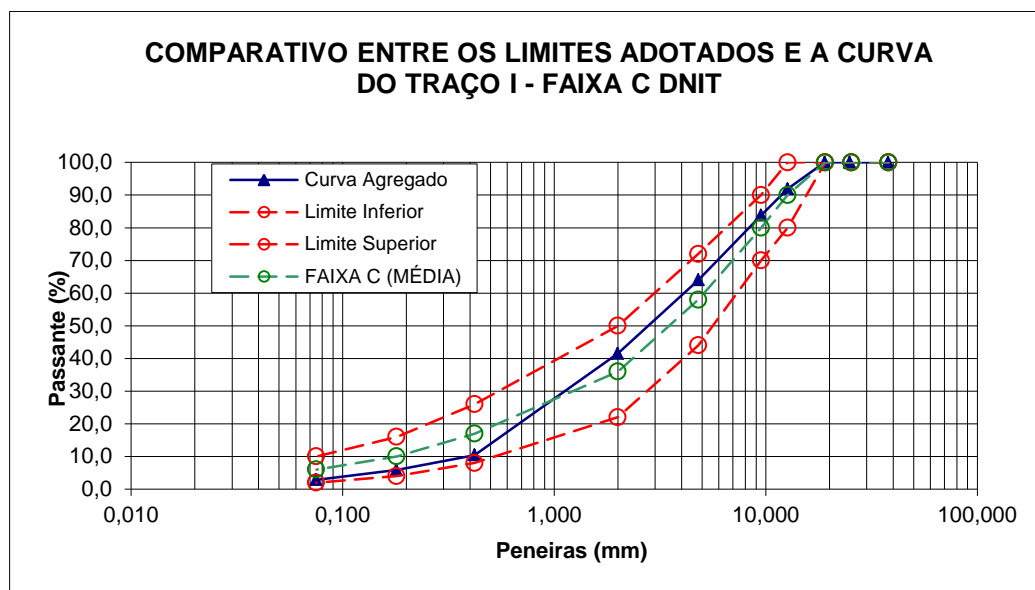
O primeiro traço foi inicialmente feito o estudo de dosagem em laboratório e posteriormente a mistura dosada foi executada em campo, utilizando o equipamento J-1000. No traço I foi utilizado filer cimento Portland CPII e CAP-polímero, além do fresado e da borracha moída de pneu. O segundo traço foi elaborado e executado em laboratório a partir da substituição do filer de cimento CPII pela cal hidratada, devido à observação de um forte enrijecimento da mistura com cimento, através dos ensaios executados. A partir dos corpos-de-prova elaborados foi possível analisar a volumetria e o comportamento mecânico da mistura desenvolvida, considerando os ensaios de resistência tração e módulo resiliente.

## 6. RESULTADOS

Na Tabela 5.1 são apresentados os valores do enquadramento granulométrico da mistura referente ao traço I contendo fresado, borracha de pneu inservível e do cimento (filer) na faixa “C” do DNIT, onde é possível observar, juntamente com o gráfico da Figura 5.1, um bom enquadramento granulométrico nesta faixa. No gráfico representado na Figura 5.1, observa-se que a curva granulométrica obtida para a mistura é ligeiramente distinta da curva média da faixa C.

**Tabela 5.1:** Enquadramento Granulométrico dos Agregados - Traço I

% Passante # (pol.)	(mm)	Fresado		Borracha Pneu		Filer (Cimento)		DNIT Faixa C		Curva Traço I
		Amostra Total	Tentativa	Amostra Total	Tentativa	Amostra Total	Tentativa	Mínimo	Máximo	
1 1/2"	38	100,00	90,00	100,00	6,00	100,00	4,00	100	100	100,0
1"	25	100,00	90,00	100,00	6,00	100,00	4,00	100	100	100,0
3/4"	19	100,00	90,00	100,00	6,00	100,00	4,00	100	100	100,0
1/2"	12,7	91,00	81,90	100,00	6,00	100,00	4,00	80	100	91,9
3/8"	9,5	82,00	73,80	100,00	6,00	100,00	4,00	70	90	83,8
n.º 4	4,8	60,00	54,00	100,00	6,00	100,00	4,00	44	72	64,0
n.º 10	2	35,00	31,50	100,00	6,00	100,00	4,00	22	50	41,5
n.º 40	0,42	4,00	3,60	47,00	2,82	100,00	4,00	8	26	10,4
n.º 80	0,18	1,00	0,90	16,00	0,96	100,00	4,00	4	16	5,9
n.º 200	0,075	0,00	0,00	1,00	0,06	70,70	2,83	2	10	2,9

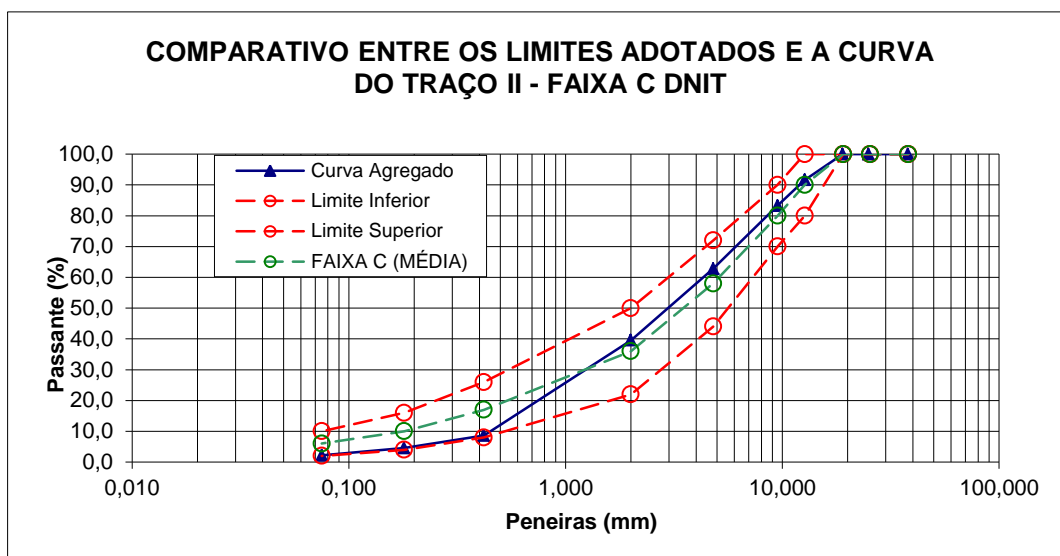


**Figura 5.1:** Enquadramento granulométrico dos materiais empregados – Faixa “C” DNIT - Traço I

São apresentados na Tabela 5.2 os valores do enquadramento granulométrico da mistura referente ao traço II contendo fresado, borracha de pneu inservível e da cal (filer) na faixa “C” do DNIT, onde é possível observar, juntamente com o gráfico da Figura 5.2, um bom enquadramento granulométrico nesta faixa. No gráfico representado na Figura 5.2, foi observado que a curva granulométrica obtida para a mistura, quase tangencia o limite inferior da curva da faixa C.

**Tabela 5.2:** Enquadramento granulométrico dos agregados - Traço II

% Passante # (pol.)	(mm)	Fresado		Borracha Pneu		Filer (Cal)		DNIT Faixa C		Curva Traço II
		Amostra Total	Tentativa	Amostra Total	Tentativa	Amostra Total	Tentativa	Mínimo	Máximo	
1 1/2"	38	100,00	93,00	100,00	4,00	100,00	3,00	100	100	100,0
1"	25	100,00	93,00	100,00	4,00	100,00	3,00	100	100	100,0
3/4"	19	100,00	93,00	100,00	4,00	100,00	3,00	100	100	100,0
1/2"	12,7	91,00	84,63	100,00	4,00	100,00	3,00	80	100	91,6
3/8"	9,5	82,00	76,26	100,00	4,00	100,00	3,00	70	90	83,3
n.º 4	4,8	60,00	55,80	100,00	4,00	100,00	3,00	44	72	62,8
n.º 10	2	35,00	32,55	100,00	4,00	100,00	3,00	22	50	39,6
n.º 40	0,42	4,00	3,72	47,00	1,88	100,00	3,00	8	26	8,6
n.º 80	0,18	1,00	0,93	16,00	0,64	100,00	3,00	4	16	4,6
n.º 200	0,075	0,00	0,00	1,00	0,04	70,70	2,12	2	10	2,2



**Figura 5.2:** Enquadramento granulométrico dos materiais empregados – Faixa “C” DNIT - Traço II

Na Tabela 5.3 é apresentado os percentuais dos agregados utilizados na dosagem Marshall para o traço I e II, nos quais podem ser observados o elevado teor de material fresado bem como a variação entre 4 e 6% do teor de borracha de pneu.

É importante ressaltar que em geral quando se trabalha com reciclagem de material fresado é usualmente adicionado uma fração de material fino, por exemplo, pó/pedrisco. Todavia, neste trabalho o foco principal é exatamente a não utilização do pó/pedrisco na mistura reciclada, opção ecológica pela borracha moída de pneus. Entretanto, optou-se por compensar como eventual fragilidade da composição granulométrica da mistura com adição de cimento ou cal.

**Tabela 5.3:** Percentuais dos agregados - Traço I e II

PERCENTUAIS AGREGADOS (%) - TRAÇO I			PERCENTUAIS AGREGADOS (%) - TRAÇO II		
Fresado	Borracha de Pneu	Filer (Cimento)	Fresado	Borracha de Pneu	Filer (Cal)
90	6	4	93	4	3

Os corpos-de-prova moldados nos traços I e II foram submetidos a ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral, os quais são apresentados nas tabelas 5.5 e 5.6, com respectivos resultados. No traço I, moldado com teor de cimento (filer) de 4%, verificou-se uma variação entre 6,57 e 6,88 MPa, que podem ser considerados valores elevados, e por este motivo optou-se por realizar o traço II com cal (filer).

**Tabela 5.5:** Resistência à tração (RT) - Traço I

Nº Corpo-de-Prova	Traço I		
	RT (MPa)	Teor de Ligante (%)	Teor de Cimento (%)
2	6,75	3,5	4
6	6,88	3,5	4
8	6,57	3,5	4

No traço II, os corpos-de-prova foram moldados com um teor de 3% de cal hidratada (filer) e um teor de 4, 5 e 6% respectivamente de ligante CAP. A Resistência à Tração variou entre 0,76 e 1,94 MPa.

**Tabela 5.6:** Resistência à tração (RT) - Traço II

Nº Corpo-de-Prova	Traço II		
	RT (MPa)	Teor de Ligante (%)	Teor de Cal (%)
1	1,94	4	3
4	0,98	5	3
7	0,76	6	3

Os Módulos resilientes obtidos para o traço I moldado com filer cimento Portland, apresentaram valores entre 12.499 e 16.344 MPa, conforme mostrado na Tabela 5.7, que podem ser considerados valores bastante elevados, assim como se observou para os valores de RT, e se devem ao elevado teor de cimento utilizado neste traço. Neste ponto, deve ser esclarecido que os autores não objetivaram a obtenção de uma mistura asfáltica com esta rigidez, sendo uma consequência dos estudos preliminares.

No traço II, moldado com cal hidratada, apresentou valores de módulo de resiliente de 1.261, 3.449 e 2.671 MPa, para os teores de 4%, 5% e 6% de CAP-polímero respectivamente. Estes valores podem ser considerados relativamente baixos, porém não muito distintos daqueles obtidos para misturas asfálticas com CAP-polímero e faixa “C” (DNIT). Assim, o comportamento resiliente do concreto asfáltico do traço II pode ser considerado como satisfatório.

**Tabela 5.7:** Módulo de resiliência (MR) - Traço I e II

Traço I		Traço II	
Nº Corpo-de-Prova	MR (MPa)	Nº Corpo-de-Prova	MR (MPa)
3	16.344	2	1.261
7	13.355	5	3.449
10	12.499	9	2.671

## 7. CONCLUSÕES

Foram apresentadas características mecânicas e operacionais de um protótipo de misturador de concreto asfáltico com sistema de aquecimento acoplado, denominado J-1000, desenvolvido para reciclagem de misturas asfálticas, tendo sido elaborada uma mistura teste no campo, denominada traço I.

A mistura denominada traço I, embora tenha se mostrado homogênea e tenha sido compactada de maneira satisfatória foi concebida com teor de cimento bastante elevado, gerando elevados valores de resistência à tração – entre 6,57 e 6,88 MPa – e módulo resiliente – entre 12.499 e 16.344 MPa.

Por este motivo foi desenvolvida uma nova mistura denominada traço II, ainda restrita a fase de laboratório, contendo cal ao invés de cimento, tendo sido obtido valores de RT e MR compatíveis com os observados na literatura para este tipo de mistura. Os autores intendem que o equipamento protótipo desenvolvido é de uso promissor na engenharia rodoviária e a pesquisa continuará a ser desenvolvida a partir da usinagem do traço II no campo e da construção de trecho experimentais.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbo., J. T. e J. Bodi (2004) Reciclagem a quente de misturas asfálticas em usinas: alternativa para bases de elevado módulo de elasticidade. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Florianópolis.
- Balbo., J.T. (2007) Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração. Oficina de Textos, São Paulo.
- Bernuci., L. B.; L. M. G. Motta.; J. A. P. Ceratti e J. B. Soares (2006) Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. *PETROBRÁS. ABEDA*, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1995) *Mistura betuminosa a quente – Ensaio Marshall*. DNER-ME 043/95. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2006) *Manual para Atividades Ambientais Rodoviárias*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2010, a) *Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio*. DNIT 135/2010, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2010, b) *Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. DNIT 136/2010, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2005, a) *Pavimento flexível - Concreto Asfáltico reciclado a quente na usina – Especificação de serviço*. DNIT 033/2005, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2005, a) *Pavimento flexível - Concreto Asfáltico reciclado a quente no local – Especificação de serviço*. DNIT 034/2005, Rio de Janeiro.
- Garrido, R. L. e J. T. Balbo (1997) *Deformações permanentes em mistura asfáltica reciclada*. In: Ponencias del 9º. Congreso Ibero-Americano del Asfalto, Tomo 2, pp. 814-823, Asunción.
- Peres, A. R. e J. T. Balbo (1998) Estudo das deformações permanentes em misturas asfálticas recicladas com emprego de agente de reciclagem ARX-1. In: *Anais da 31ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação*, Vol. 1, pp. 249-269, São Paulo.