

# Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas <sup>(1)</sup>

*Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>  
Departamento de Química<sup>II,III</sup> – Centro Politécnico  
Departamento de Física<sup>IV</sup> – Centro Politécnico  
Universidade Federal do Paraná<sup>II,III,IV</sup> – Curitiba  
Departamento de Transportes<sup>V</sup> – Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Catarina<sup>V</sup> - Florianópolis*

## RESUMO

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil são geradas aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano. A maior parte destes resíduos é disposta em aterros com custos para os geradores e impactos para o meio ambiente. A possibilidade do reaproveitamento do resíduo areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas pode contribuir tanto para reduzir o volume de material descartado quanto para atender à grande demanda regional de pavimentação de ruas e estradas. Este trabalho aborda a elaboração e caracterização do concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), obtido a partir da adição de traços de resíduo areia verde de fundição em substituição ao agregado fino convencionalmente utilizado (areia). Para isso, foram coletadas amostras do resíduo areia verde de fundição da empresa Tupy Fundições Ltda localizada na cidade de Joinville - SC. A coleta e seleção das amostras foram realizadas de acordo com as normas ABNT. A percentagem de cada fração granulométrica de agregado foi estabelecida com o teste Marshall. Quatro corpos de prova com 0, 5, 10 e 15% de areia de fundição foram preparados e submetidos a testes de ruptura. Os corpos rompidos foram cortados e examinados com um Microscópio Eletrônico de Varredura. A metodologia Marshall provou ser efetiva na preparação das misturas testadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reaproveitamento, Areia de Fundição, Pavimentação.

*Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>*

<sup>(1)</sup>12º CONAF – Congresso de Fundição 27 a 30 de setembro de 2005 – São Paulo - SP

# 1 INTRODUÇÃO

Vários resíduos industriais já são usados em materiais para construção civil e vários outros têm tido a sua viabilidade analisada. A reutilização do resíduo de areia de fundição como agregado em pavimentação é atraente dos pontos de vista econômico e da proteção ao meio ambiente e explica investimentos em estudos sobre possíveis alterações de processos e substituições de matérias primas. Alguns estudos preliminares sobre o uso de areia verde de fundição como agregado de asfalto já foram feitos no Brasil [COUTINHO, 2004; STEFENON, 2003; BONET, 2002 e BINA et al, 2000] e nos EUA [MILLER et al, 1998] com resultados satisfatórios.

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil é gerado cerca de 1.500.000 m<sup>3</sup> por ano [MARIOTTO, 2001]. A maior parte destes resíduos é disposta em aterros com custos para os geradores e impactos para o meio ambiente.

Esse trabalho objetiva o estudo de adição do resíduo Areia Verde de Fundição como alternativa em pavimentação, para que possa assim contribuir no reaproveitamento de rejeitos industriais com interferência significativa na redução de impactos ambientais.

O resíduo areia verde de fundição será denominado matéria-prima alternativa nesse trabalho.

## 1.1 Revisão de Literatura

### 1.1.1 Areia de Fundição

A areia verde de fundição é uma mistura de vários elementos que se combinam dando características de perfeita trabalhabilidade da mistura que compõe a caixa de moldagem.

Maleabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem são algumas características que a areia adquire devido sua mistura [BONIN, 1995].

A areia verde de fundição é constituída basicamente por: areia, pó de carvão, bentonita e água.

O principal componente da areia verde utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia base”. A areia base é constituída essencialmente de sílica (óxido de silício – SiO<sub>2</sub>).

A bentonita é um silicato de alumina hidratado (contém em sua composição silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio). É formada por lamelas, sendo classificada pela espessura das mesmas.

De um modo geral, o pó de carvão é formado por matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre.

A característica principal da água na mistura da areia de moldagem é tornar possível a propriedade coesiva dos elementos da mistura através do aumento da umidade.

### 1.2.1. Estudo da Pavimentação

Pavimentos de concreto asfáltico consistem de combinações de camadas que incluem uma superfície de concreto asfáltico construída sobre uma base e uma sub-base granular.

O revestimento é a camada do pavimento que receberá diretamente os esforços normais e tangenciais aplicados pelas rodas dos veículos. A base do pavimento é uma camada, típica, granular, e trabalha essencialmente à compressão vertical, e para não sofrer ruptura ou deformações indesejáveis, deve ser suficientemente estabilizada e constituída por materiais resistentes. Sub-base é a camada do pavimento subjacente à base que fornecendo o necessário suporte à mesma, transmite à camada subjacente (sub-leito), esforços normais compatíveis com a capacidade suporte desta, podendo estas sub-bases serem granulares ou coesivas. Sub-leito é a superfície do solo após terraplenagem.

Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), é um revestimento flexível, resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (*filler* – eventualmente) e cimento asfáltico de petróleo (CAP) de acordo com proporções definidas previamente em laboratório, de forma a atender os requisitos granulométricos, de densidade, de vazios e de resistência, compatíveis com padrões preestabelecidos. Um concreto asfáltico se caracteriza pelo fato de que a operação de mistura é precedida pelo aquecimento de seus componentes à temperaturas elevadas (entre 140 °C e 180 °C), e sua distribuição e compactação na pista serem também precedidas estando a mistura em temperaturas entre 80 °C e 140 °C. Devido a ligação entre agregados, os CAUQs são capazes de resistir bem às ações mecânicas de desagregação produzida pelos os veículos [BONET, 2002].

Os ligantes asfálticos são classificados em três tipos: cimentos asfálticos de petróleo (CAP's), asfaltos diluídos e emulsões asfálticas catiônicas. Estes ligantes em combinação com agregados diversos originam os vários tipos de serviços em pavimentação, a saber: imprimação, pintura de ligação, tratamentos superficiais, macadame betuminoso, pré-misturado a quente, pré-misturado a frio, areia-asfalto a quente, areia-asfalto a frio, concreto asfáltico, solo-betume, lama asfáltica, reciclagem de revestimento e micro revestimento [IBP, 1999].

Os agregados são materiais inertes, granulares, sendo que a forma dos granulares deve ser aproximadamente de forma cúbica, sub angular. A forma do granular é dependente do tipo de rocha, do tipo de máquinas de britagem, da abertura do britador, do fluxo de britagem.

## 2. DESCRIÇÃO GERAL E MÉTODOS INVESTIGATIVOS

### 2.1. Material

- a) Os materiais utilizados foram: Pedrisco, Pó de Brita e Brita 01, sendo que esses materiais foram coletados em Pirabeiraba pertencente à região Norte de Joinville.
- b) Matéria-prima alternativa: Este resíduo é gerado no processo de moldagem de fundição, sendo que a empresa fornecedora deste, localiza-se em Joinville.

*Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>*

<sup>(1)</sup>12º CONAF – Congresso de Fundição 27 a 30 de setembro de 2005 – São Paulo - SP

## 2.2. Métodos

### a) Coleta das Amostras de Agregados

Os agregados utilizados neste estudo foram doados pela Minérios Rudnick, na região de Joinville, SC, já empregados na pavimentação, os quais estavam devidamente ensacados e enviados para a Ipiranga Asfaltos localizada em Paulínia - SP. Posteriormente os mesmos foram armazenados em temperatura ambiente.

Foram coletadas amostras da matéria-prima alternativa em determinados pontos de geração conforme NBR 10 007 e enviadas para análises no Laboratório de Projetos da Ipiranga Asfaltos S.A.

### b) Análise Granulométrica

Para o estudo granulométrico dos agregados britados e da matéria-prima alternativa, obedeceu-se os critérios da metodologia da Análise Granulométrica de Agregados conforme Norma Brasileira DNER-ME 083/98.

### c) Projeto das Misturas Asfálticas

Com a utilização do método Marshall [DNER 313/97] foi realizado o projeto da mistura de concreto asfáltico que consiste em determinar o traço da mistura, ou seja, determinar a porcentagem dos diversos agregados minerais utilizados bem como determinar a porcentagem de asfalto, de maneira a satisfazer requisitos mínimos de estabilidade determinada pelas especificações.

Na realização do ensaio Marshall foram determinados os parâmetros descritos abaixo, sendo que as unidades utilizadas foram as que são utilizadas no procedimento de trabalho do Laboratório de Projetos da Ipiranga Asfaltos:

- Densidade: deve-se obter através do peso pelo volume.  $D = P/V$  (g/cm<sup>3</sup>);
- Estabilidade: é definida como a carga máxima de compressão que um corpo de prova pode suportar, quando ensaiado na prensa Marshall, à temperatura de 60 °C e com êmbolo de prensa se movimentando a uma velocidade de 5 cm/min (0,83 mm/s). É expressa em kgf/cm<sup>2</sup>, que produz a ruptura diametral do corpo de prova;
- Fluência: é a deformação diametral do corpo de prova, expressa em centésimos de polegadas, medida no momento da ruptura.

Determinou-se também a densidade, volume, massa específica real dos agregados e asfalto, para calcular os vazios para cada teor de asfalto.

A porcentagem de asfalto ótimo foi obtida através da média aritmética das seguintes porcentagens de asfalto: % de asfalto correspondente à máxima densidade; % de asfalto correspondente à máxima estabilidade; % de asfalto correspondente à porcentagem média de vazios previstos para o tipo de mistura.

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) utilizado neste estudo foi proveniente da Refinaria de Paulínia – REPLAN pertencente a Ipiranga Asfaltos S.A.

### d) Caracterização da Microestrutura do Pavimento

O corte dos corpos de prova foi realizado com serra de diamante, com resfriamento de água em quantidade, tal como nas máquinas usadas em marmoraria para corte de pedras; em velocidade baixa, para que o corpo de prova não se aqueça. Os cortes dos corpos de prova foram feitos em máquina de serra para que se pudesse ter a forma desejada dos mesmos, pois o concreto asfáltico deverá ser usado na

*Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>*

<sup>(1)</sup>12º CONAF – Congresso de Fundação 27 a 30 de setembro de 2005 – São Paulo - SP

temperatura ambiente, e é nesta temperatura que seu comportamento deve ser analisado; no domínio da temperatura em que seu comportamento é viscoelástico.

Após o corte os corpos de prova foram armazenados em ambiente livre de umidade, e posteriormente preparados para análise da microestrutura.

O estudo de caracterização da microestrutura do material obtido, foi realizado utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura por elétrons retroespalhados (BES). Os resultados da caracterização da microestrutura apresentados no trabalho se referem às amostras com 0%, 5%, 10%, e 15% de matéria-prima alternativa.

### 3. RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros Marshall e da densidade aparente, sendo que a porcentagem de teor ótimo de ligante foi da ordem de 5,3.

A Tabela 2 e a Figura I. apresentam as granulometrias dos materiais empregados na composição da massa asfáltica, (Brita 01, Pedrisco, Pó de Brita e a Matéria-prima Alternativa). Na Tabela 3 apresenta-se a composição da mistura do concreto asfáltico usinado a quente para a composição contendo 10% de Matéria-prima Alternativa. Para o material com 10% de Matéria-prima Alternativa utilizou-se a seguinte composição: Brita 01: 15%, Pedrisco 25% e Pó de Brita: 50%. Na Tabela 3 estão representados os resultados da composição granulométrica da mistura. A Figura II mostra a tolerância do traços – faixa “C” DNIT, sendo que as tolerâncias das faixas foram da seguinte ordem de peneiras:  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{8}$  = 7%, 4, 10 e 40 = 5%, 20 e 200 = 2%.

Como resultado da caracterização da microestrutura do material sem resíduo de fundição, observou-se em sua microestrutura presença de microfissuras no agregado, possivelmente ocorrida durante o ensaio de compressão (Figura IIIa). Na Figura IIIb pode-se visualizar melhor a microfissura e também uma boa interface entre o agregado e o ligante.

O material obtido com 10% de Matéria-prima Alternativa apresentou uma pior interface do agregado e o ligante com relação ao material com 5% de Matéria-prima conforme as Figuras Va e Vb.

Constatou-se falhas na interface entre o agregado e o ligante do material com 15% de Matéria-prima Alternativa conforme ilustram as figuras VIa e VIb.

Para o material obtido com 5% de Matéria-prima Alternativa, observou-se uma boa interface entre o agregado e o ligante que é observada nas Figuras IVa e IVb .

Tabela 1. Resultados da dosagem Marshall.

Parâmetros	0%	5%	10%	15%	DNIT 313/97
% vazios	4,2	4,2	4,3	4,1	3 a 5
Relação Betume/Vazios (%)	76,1	75,6	75,1	75,1	75 a 82
Estabilidade mínima (Kgf/cm <sup>2</sup> )	1199	1118	1068	1007	350
Fluência (1"/100)	16,8	14,9	15,9	16,0	8 a 18
Vazios Agregado Mineral (%)	16,8	17,3	17,4	17,2	14
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,5540	2,5259	2,5146	2,5118	*

\* Não possui especificação em Norma.

Tabela 2. Composição Granulométrica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente.

Material	Brita 01	Pedrisco	Pó de Brita	Matéria-prima Alternativa
19,1 mm : ¾"	100,0	100,0	100,0	100,0
12,7 mm : ½"	24,0	100,0	100,0	100,0
9,5 mm : 3/8"	1,8	100,0	100,0	100,0
4,8 mm : n° 4	0,1	30,1	100,0	100,0
2,0 mm : n° 10	0,1	0,8	78,3	100,0
0,42 mm : n° 40	0,1	0,1	33,3	78,6
0,18 mm : n° 80	0,1	0,1	21,9	27,0
0,074 mm : n° 200	0,1	0,1	13,0	8,7

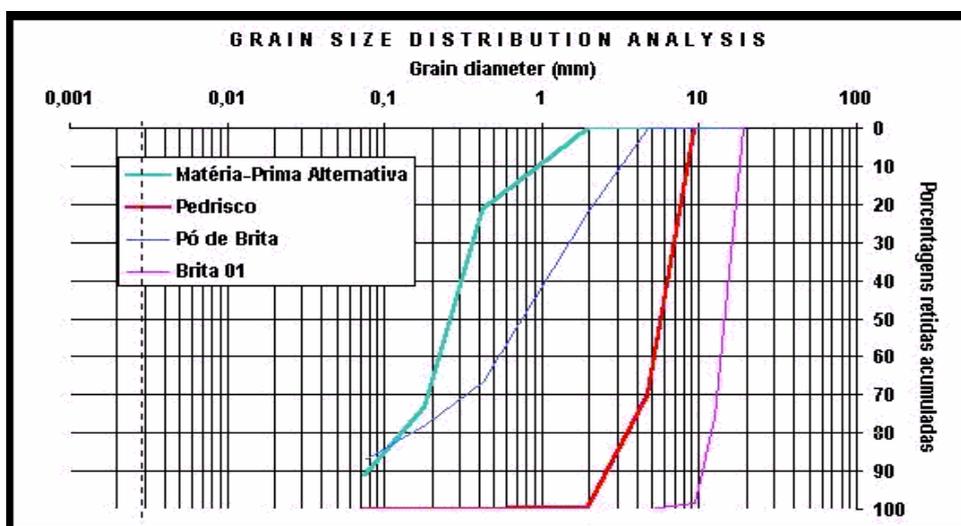


Figura I. Análise granulométrica para o concreto asfáltico usinado a quente.

Tabela 3. Resultados da Composição da Mistura contendo 10% de Matéria-prima Alternativa.

Peneiras	Traço (%)	Faixa "C" DNIT (%)	
		Limite Inferior	Limite Superior
19,1 mm : ¾"	100	100,0	100,0
12,7 mm : ½"	88,6	85,0	100,0
9,5 mm : 3/8"	85,3	75,0	100,0
4,8 mm : n° 4	67,5	50,0	85,0
2,0 mm : n° 10	49,4	30,0	75,0
0,42 mm : n° 40	24,5	15,0	40,0
0,18 mm : n° 80	13,7	8,0	30,0
0,074 mm : n° 200	7,4	5,0	10,0

Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>

<sup>(1)</sup>12° CONAF – Congresso de Fundação 27 a 30 de setembro de 2005 – São Paulo - SP

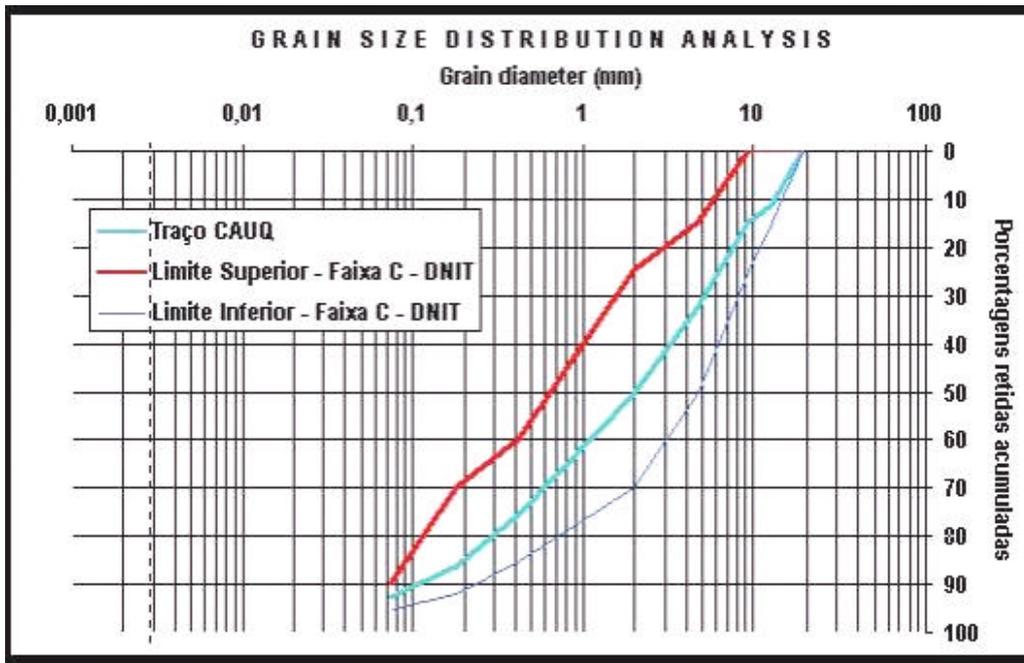


Figura II. Tolerância dos traços – faixa “C” DNIT da mistura do concreto asfáltico usinado a quente com 10% de Matéria-prima Alternativa.

#### 4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A Tabela 3 mostrou que a distribuição granulométrica da mistura incorporada com 10% de Matéria-prima Alternativa, atende a faixa de trabalho, conforme preconiza as Especificações DNIT, faixa “C”. A distribuição granulométrica da mistura, encontra-se dentro da faixa C de trabalho, conforme demonstra a Figura II.

Conforme mostrado na Tabela, todos os resultados obtidos satisfazem as especificações DNIT 313/97 . Com isso o traço asfáltico incorporado com a matéria-prima alternativa satisfaz as características do método Marshall, porém recomenda-se a utilização de cal para melhorar os resultados dos parâmetros Marshall já que os mesmos encontram-se muito próximos dos limites das especificações DNIT 313/97.

Com os resultados apresentados pode-se considerar que a indústria rodoviária poderá utilizar o resíduo areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas e assim cooperar com a indústria da fundição, na busca da preservação ambiental.

Com o reaproveitamento do resíduo areia verde de fundição por parte das empresas de pavimentação, estas deixariam de prospectar em jazidas de areias virgens, na mesma proporção do reaproveitamento dos resíduos gerados pelas empresas de fundição, e incorporados no Concreto Asfáltico Usinado a Quente.

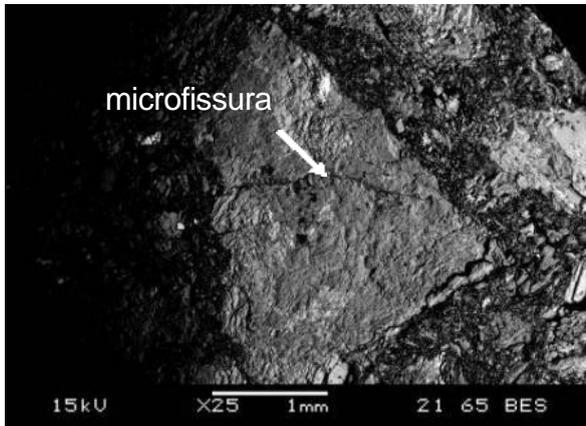


Figura IIIa. Micrografia mostrando a presença de microfissuras no material com 0% de matéria-prima alternativa.

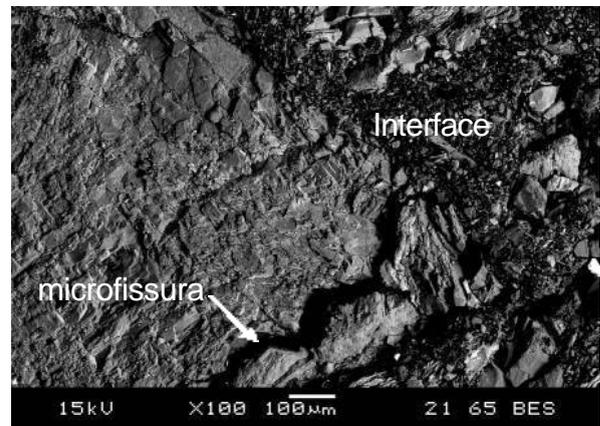


Figura IIIb. Micrografia mostrando a interface entre o agregado e o ligante do material com 0% de matéria-prima alternativa.

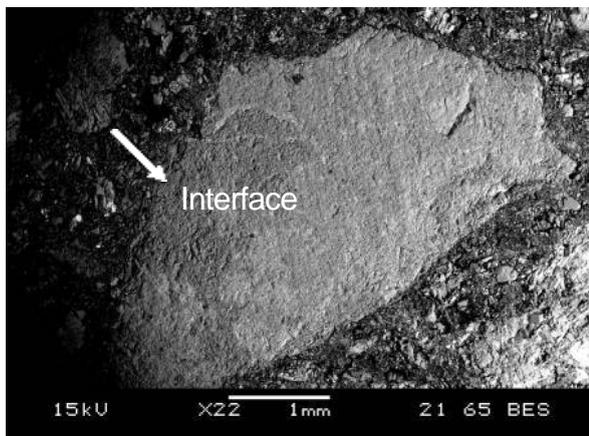


Figura IVa. Microestrutura do material com 5% de matéria-prima alternativa.

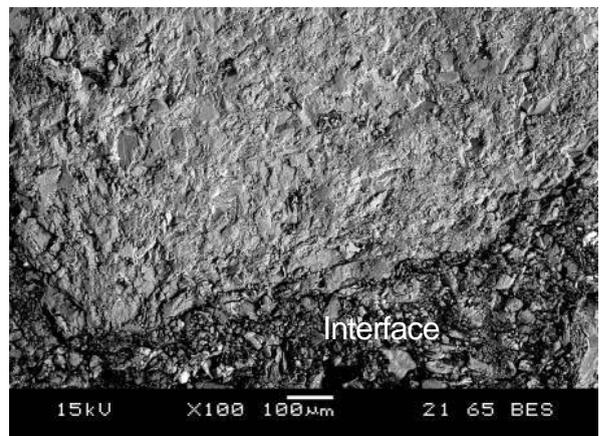


Figura IVb. Micrografia ampliada da interface entre o agregado e o ligante. Material com 5% de matéria-prima alternativa.

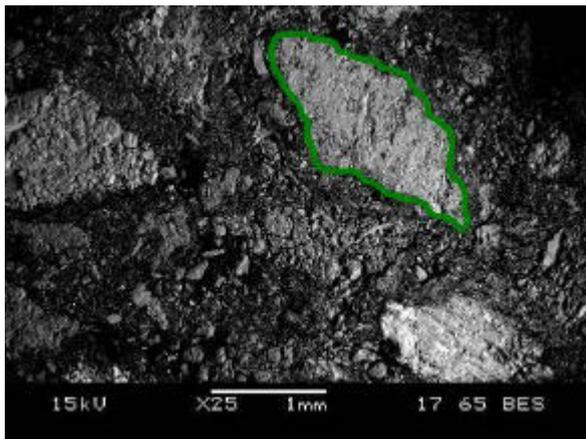


Figura Va. Microestrutura do material com 10% de matéria-prima alternativa.

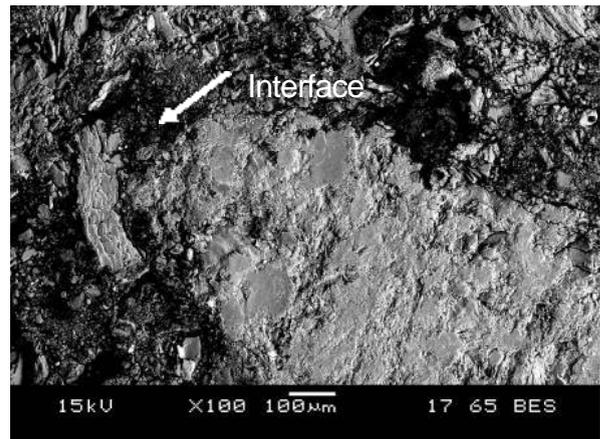


Figura Vb. Micrografia mostrando a interface entre o agregado e o ligante do material com 10% de matéria-prima alternativa.

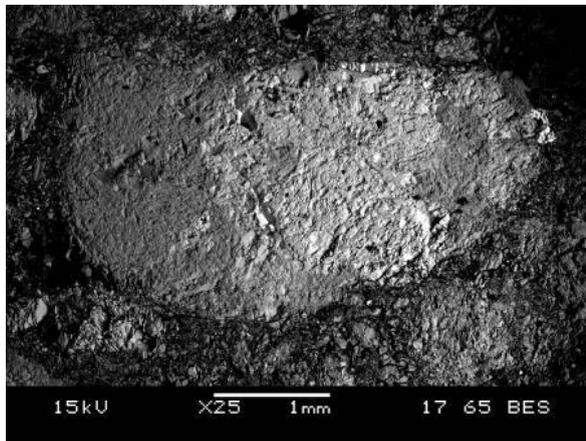


Figura VIa. Micrografia do material com 15% de matéria-prima alternativa.

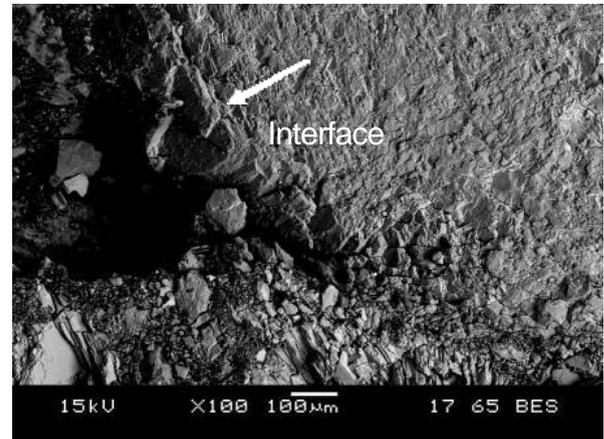


Figura VIb. Microestrutura apresentando defeitos na interface entre o agregado e o ligante do material com 15% de matéria-prima alternativa.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho gostariam de registrar os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições: TUPY FUNDIÇÕES LTDA, UFPR - (Rosângela Borges Freitas Zem, Sérgio Tokunaga do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura) - (Amauri Pedro Sauto do Laboratório de Materiais e Estruturas), IPIRANGA ASFALTOS – Marcos Alessandro Moreira e Humberto Rui Cardoso do Nascimento, RUDNICK MINÉRIOS LTDA – Edson Roberto Rudnick, UDESC - Profa Marilena Valadares Folgeras do Laboratório de Materiais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *Amostragem de Resíduos Sólidos.* NBR 12007. Rio de Janeiro, 2004.

Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>

<sup>(1)</sup>12º CONAF – Congresso de Fundação 27 a 30 de setembro de 2005 – São Paulo - SP

**BINA, Paulo; ALVES, José H.; BONIN, André L.; YOSHIMURA, Humberto N.** *Metodologia de Análise e Aprovação de Utilização de Rejeitos Industriais na Construção Civil: Estudo de Caso de Uso de Areia de Fundação de Descarte para Pavimentação*. Monobeton Soluções Tecnológicas Ltda – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. São Paulo, 2000.

**BONET, Ivan Ideraldo.** *Valorização do Resíduo Areia de Fundação (RAF). Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo CBUQ*. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

**BONIN, André Luís.** *Reutilização da Areia Preta de Fundação na Construção Civil*. Congresso de Fundação. São Paulo, p-203-221. Setembro, 1995.

**COUTINHO, Benedito Neto.** *Avaliação do Reaproveitamento de Areia de Fundação como Agregado em Misturas Asfálticas*. Tese de Doutorado (Engenharia de Transportes). Universidade de São Carlos. São Carlos, 2004.

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.** *Agregados – Análise Granulométrica*. DNER-ME 083/98. Rio de Janeiro, 1998.

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.** *Pavimentação – concreto betuminoso*.

**MARIOTTO, Cláudio Luiz.** *Regeneração de Excedentes de Areia de Fundação*. Seminário Latino Americano de Fundação, 2001.

**MILLER, E.; BAHIA, H.; KHATRI, A.; WINTER, M.** *Utilization of Foundry Sand in Hot Mix Asphalt*. University of Wisconsin at Madison, July 1998. Final Report submitted to University-Industry Relationships.

**STEFENON, Fernando.** *Incorporação de Resíduos Industriais em Concreto Betuminoso Usinado à Quente*. Universidade de Caxias do Sul. Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Caxias do Sul, 2003.

## **ABSTRACT**

Foundry sand represents one of the most produced industrial solid residue. The Brazilian yearly production alone is approximately 2 million metric tons. Most of these residues is disposed off in landfills with costs for the generators and environmental impacts. The possibility of reusing the residue of green foundry sand as an aggregate in asphaltic mixes can contribute to reduce the volume of landfilled material as well as to meet the huge regional demand for street and road paving. The present work reports the preparation and characterization of the hot mix asphalt obtained replacing the conventional fine aggregate fraction with green foundry sand. For this purpose samples of green foundry sand were

collected at the Typy Fundições Ltda plant located in Joinville-SC. The sampling was performed according to local ABNT standards. The percentage of each granulometric fraction of aggregate was established with the Marshall test. Four mix asphalt specimens with 0, 5, 10 and 15% foundry sand were prepared and submitted to rupture tests. The faulted specimens were cut and examined under the Scanning Electron Microscope. The Marshall methodology has proven to be effective in the preparation of the tested mixes.

**KEY-WORDS:** Reuse, Foundry sand, Paving.

Raquel Luísa Pereira<sup>II</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>III</sup>, Ney Pereira Mattoso Filho<sup>IV</sup>, Leto Momm<sup>V</sup>

<sup>(1)</sup>12° CONAF – Congresso de Fundação 27 a 30 de setembro de 2005 – São Paulo - SP