

**SEFIC2018**  
**UNILASALLE**

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A  
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

**22 A 27**  
DE OUTUBRO

## **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA APLICAÇÃO DA AREIA DE SIDERÚRGICA PARA MISTURA ASFÁLTICA**

André Duarte Viola,  
Sydney Sabedot, Rodrigo Malysz  
UNILASALLE

### **RESUMO**

A areia de fundição dependendo do processo utilizado, pode conter compostos químicos não inertes. O objetivo é apresentar um estudo de alternativa para utilização desse rejeito, reutilizando-o na composição da massa asfáltica. O estudo pretende verificar se este resíduo incorporado à massa asfáltica, poluiria o meio ambiente. Será realizado ensaio de lixiviação na areia e na mistura asfáltica para avaliar ambientalmente e o desempenho da massa asfáltica pelo método de dosagem Marshall.

**Palavras-chave:** Pavimentação, fundição, areia.

**Área Temática:** Engenharias e Computação

### **1 INTRODUÇÃO - PROPÓSITO CENTRAL DO TRABALHO**

O atual crescimento populacional, bem como o desenvolvimento socioeconômico, e a revolução tecnológica vêm acompanhados por alterações nos modos de produção e consumo da população. Com esses processos, ocorre o aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade.

Os resíduos sólidos industriais têm uma parcela substancial dentre todos os resíduos sólidos gerados, com destaque o setor de metalúrgico, apesar de reutilizar a maior parte no próprio ciclo produtivo.

O processo de fabricação de peças fundidas utiliza areia para confecção dos moldes e machos. No preparo dos moldes, a areia é misturada com um ligante e outros aditivos para o preparo da areia verde, utilizada na produção de peças de pequeno porte. A fabricação de peças maiores, utiliza resina e catalisador para preparo dos moldes e machos.

A areia de moldagem é o principal resíduo gerados pela fundição, com características quantitativas e qualitativas diversificada em função das peculiaridades de cada processo. Depois de utilizada em moldes, a areia fica contaminada por metais pesados e por resinas, dificultando a recuperação e reutilização. Ainda dependendo da técnica de moldagem a areia oriunda do processo é classificada, conforme NBR 10.004, como um resíduo perigoso (CLASSE I) ou como não inerte (CLASSE II).

O volume de resíduo gerado no processo de fundição por moldagem em areia é muito alto, o destino final e correto é, na maioria, aterros industriais acarretando em custo extras de produção.

Dentro deste contexto, desponta o ensejo de reutilização dos resíduos de areias de fundição como fonte de matéria-prima para compor a massa asfáltica em CBUQ dos pavimentos flexíveis, preconizando a desoneração dos custos relativos ao descarte do



rejeito para aterros controlados e fornecimento de matéria prima a baixo custo, em conformidade às normas de dimensionamento do pavimento e legislação ambientais em vigor. Portanto é fundamental avaliar questões técnica, ambiental e econômica da utilização do resíduo areal de fundição proveniente da Ecoplan Aços Especiais na composição da massa asfáltica tipo CBUQ, como uma alternativa para o emprego de resíduos areias de fundição (R.A.F).

## 2 REVISÃO

### 2.1 Indústria de fundição

De acordo com Mariotto (2000) o parque industrial brasileiro de fundições é estimado em aproximadamente 1.000 fundições, sendo que deste total 80% são de pequeno porte (com menos de 100 empregados), sendo o estado de São Paulo o que possui maior número de empresas. Ainda segundo a associação brasileira de fundição ABIFA o número de funcionários nas fundições atingiu em julho de 2018, 54.729 pessoas.

Segundo a ABIFA (2018) a produção de fundidos totalizou e 1.121.905t no primeiro semestre de 2018. Este volume é composto por 916.606 t de ferro fundido 108.135 t de aço e 97.164 t de metais não ferrosos (cobre, zinco, alumínio e magnésio). O mercado interno é o maior consumidor, absorveu 83% (931.051 t) da produção de fundidos. Já as exportações responderam por 17% da demanda da indústria de fundição nos seis primeiros meses de 2018, o equivalente a 190.854 t. Tendo como principal importador os Estados Unidos com 42,5% das exportações brasileiras de fundidos, seguidos de países da América do Sul (19,3%), Europa (6,7%), África (6%) e Ásia (5,8%).

### 2.2 Métodos e Processo de fundição

Atualmente, a produção de peças metálicas, é fundamentada nos métodos ancestrais, mas com um conjunto de alterações progressivas em direção ao aperfeiçoamento constante. A fabricação pode ser realizada, conforme os processos a seguir Tratamento Mecânico/ conformação plástica, Usinagem, Metalurgia do pó, Soldagem, Fundição (BRADASCHIA et al.,1981).

### 2.3 Fundição

Por definição, segundo Kondic (1973), é qualquer processo de fusão e vazamento de metais em moldes, tendo como objetivo a produção de peças com formas e dimensões previamente estabelecidas.

Pode-se definir fundição como um conjunto de processos com o objetivo de dar formas aos metais pré-definidas na transição da fase líquida para a fase sólida, através do vazamento para moldes e posterior solidificação.

Deste modo, num único processo, obtém-se formas simples ou complexas de qualquer metal que possa ser fundido. As peças podem variar desde frações e pesando gramas até alguns metros e várias toneladas (DUARTE, 1997).



São raros os processos de manufatura cujos produtos são capazes de abranger faixas tão amplas de tamanhos, pesos e complexidade como o setor industrial de fundição.

O que distingue a fundição de outros processos de manufatura para a produção de quanto internas, e dimensões muito próximas daquilo que se deseja no produto acabado, resultando em economia de tempo, trabalho e materiais.

Este tipo de processo apresenta diversas vantagens na produção de formas complexas, peças com seções côncavas ou com cavidades internas, peças muito grandes e peças feitas a partir de materiais difíceis de serem usinados.

Contudo, como em todas as técnicas de produção, os melhores resultados a baixo custo são atingidos se o projetista compreender as várias opções e desenhar as peças para serem utilizadas pelo processo mais apropriado e da maneira mais eficiente (GIÃO & COSTA, 2001).

Os processos são classificados pelos diferentes tipos e opções de material do molde (areia, metal, ou outros materiais) e método de vazamento (gravidade, vácuo, pressão, velocidade).

Todos os processos buscam o mesmo propósito promover o desenvolvimento e conquistar resultados positivos que o material ao solidificar maximiza as suas propriedades e simultaneamente previne potenciais defeitos, tais como macro e micro rechupes, porosidade, inclusões, etc. (GIÃO & COSTA, 2001).

Segundo Siegel et al. (1982), a fundição de uma peça metálica pode ser resumida, em síntese, em modelação, moldagem, macharia, fusão, vazamento, desmoldagem e rebarbação - limpeza.

## **2.4 Areia de Fundição**

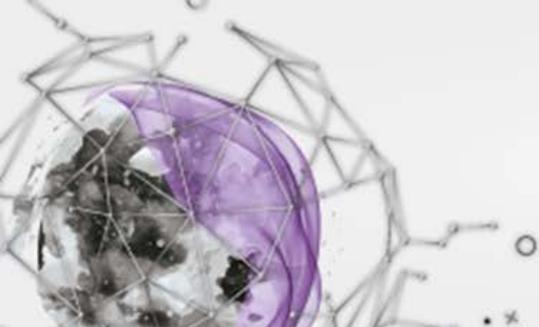
A importância desse material nas indústrias de fundição mundial é muito grande, principalmente, pelo custo, relativamente baixo, considerando os outros métodos. Se a moldagem for em areia verde, este custo cai mais ainda, visto que, este método utiliza areia natural e não requer secagem do molde, dispensando, portanto, o gasto com a energia e mão-de-obra necessárias para esta fase.

Segundo Mariotto (2000), estima-se que mais de 80% dos produtos fundidos sejam fabricados utilizando moldes confeccionados com areia aglomerada, sendo que o ligante mais usual é argila (moldagem em areia verde). Os processos, que utilizam argila, são empregados, geralmente, para confeccionar os moldes que dão forma às superfícies externas do produto fundido, sendo que, para confeccionar os machos, que conformam as superfícies internas das peças, utilizam-se areias aglomeradas com resinas sintéticas que, geralmente, são de origem fenólica.

## **2.4 Pavimentação Asfáltica**

A norma brasileira de pavimentação, NBR 7207/82 – ABNT, define pavimento como uma estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a:

- a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;



c) resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tomando mais durável a superfície de rolamento.

SANTANA (1985), define pavimento, como uma estrutura construída sobre o leito, constituída por uma ou mais camadas, que devem resistir aos esforços oriundos dos veículos e transmitindo-os ao subleito, de modo a torná-lo compatíveis com sua capacidade de suporte.

## **2.4 Método de dimensionamento de Pavimento Asfáltico**

No projeto de misturas asfálticas, determinam-se os tipos de agregados afim de enquadrá-los em uma faixa granulométrica, o tipo e o teor de ligante. A dosagem é a obtenção da correta proporção dos materiais em uma determinada mistura. Para uma dosagem adequada, é necessário conhecer-se as características tanto qualitativas quanto quantitativas.

O método de dosagem Marshall é o mais utilizado no mundo. Este método foi desenvolvido no Mississippi Highway Department por Bruce Marshall em 1939. O procedimento foi aperfeiçoado dos anos culminando no projeto de norma para a mistura (Asphalt Institute, 1989). Apesar da dosagem Marshall ser um método empírico, este método torna-se de fundamental importância para o projeto de misturas asfálticas e controle tecnológico.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Materiais**

Os materiais a serem utilizados nesta pesquisa serão constituídos do resíduo areal de fundição da empresa Ecoplan Aços Especiais, material granular pétreo, proveniente de pedra comercial próximo ao município de Porto Alegre, além do material asfáltico proveniente da Refap - Canoas. Coleta conforme NBR 10007/87.

### **3.1 Caracterização do resíduo areal**

#### **3.1.1 Equivalente de Areia**

O procedimento determina a proporção relativa de materiais como argila ou pó em uma determinada amostra de agregados miúdos. A amostra utilizada provém do material passante na peneira de abertura de 4,8mm, em quantidade de aproximadamente 110g, então o material é vertido para proveta contendo uma solução previamente preparada, com auxílio de um funil, o próximo passo é à agitação seguida de repouso, de forma que as partículas de argila ou pó fiquem em suspensão, para realizar a medição, o procedimento segue a Norma DNER-ME 054/97.

### **3.2 Caracterização do agregado graúdo**



### **3.2.1 Desgaste Los Angeles**

Este procedimento segue DNER-ME035/94, visa verificar se o agregado graúdo é resistente ao choque e ao desgaste por atrito entre as partículas. A quantidade de cinco ou dez quilos do agregado, é submetido a rotação de um tambor metálico de 80 centímetros de diâmetro a uma velocidade de 30 a 33 rpm com doze bolas de aço e o ensaio é concluído após 500 ou 1000 rotações a depender da faixa granulométrica. O agregado deve apresentar dureza capaz de resistir a degradação provocada pelos equipamentos de compactação durante a pavimentação, e pela ação do tráfego e clima, durante a sua vida útil.

### **3.2.2 Índice de Forma**

O ensaio determina se o agregado apresenta bom índice de forma, ou seja, se é livre de partículas muito alongadas, lamelares, achatadas e arredondadas. Os agregados passam por crivos redutores e determina-se a forma do grão. O resultado possui grande influência sobre a estabilidade da mistura asfáltica, pois os agregados lamelares são facilmente quebrados pela ação do tráfego, enquanto agregados de textura rugosa e arestas cúbicas, tendem a apresentar maior atrito e melhor adesividade. O ensaio segue a Norma DNER-ME 086/94.

### **3.2.3 Durabilidade**

Este ensaio avalia a durabilidade química dos agregados. A durabilidade é avaliada por meio de um ensaio onde o agregado é colocado em contato direto com uma solução padronizada de sulfato de sódio ou de magnésio, para avaliar quimicamente a durabilidade, procedimento segue a Norma DNER-ME 089/94.

## **3.3. Mistura Asfáltica**

### **3.3.1 Granulométrica**

O ensaio de granulometria é padronizado conforme DNER-ME 083/94, o procedimento determina a contribuição, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos nos agregados. Representada pela curva de distribuição granulométrica (porcentagem de material passando  $\times$  log do diâmetro da abertura da peneira), é uma das características que assegura estabilidade aos pavimentos. Esta propriedade afeta importantes propriedades da mistura asfáltica, rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência.

### **3.3.2 Dosagem marshal**

Este procedimento determina o teor de ligante a ser utilizado na massa asfáltica, para que esta se enquadre nas especificações e assim evitar desagregação prematura ou superfícies escorregadias e deformáveis, provocados respectivamente por falta de ligante ou pelo seu excesso. Conhecidas as características do CAP, dos agregados e do resíduo, define-se a faixa granulométrica a ser utilizada na dosagem da mistura. Posteriormente,



escolheu-se a composição dos agregados, de forma a enquadrar a sua mistura nos limites da faixa granulométrica escolhida. O procedimento segue a norma DNER – ME 043/95.

### **3.4 Contaminação Ambiental**

#### **3.4.1 Lixiviação**

Inicialmente pesa-se a amostra na balança de precisão que deve conter no mínimo 100g de massa. O material obtido deverá ter sua granulometria reduzida de forma a passar na peneira de malha 9,5mm para enviá-lo para a etapa de extração. Em seguida adiciona-se água deionizada à amostra na proporção de 16:1, para o início da agitação no agitador jar-test. Na sequência, submete-se a amostra à agitação mecânica de pás giratórias com controle de velocidade e ainda deve-se verificar e efetuar correções do pH em intervalos de tempo pré-estabelecidos pela norma, terminada a agitação, adiciona-se água deionizada. Após a adição de água deionizada, deve ser feita à filtração. A solução obtida constitui o lixiviado, o qual deve ser preservado de forma a conservar suas características, e deve ser submetido a análises químicas para verificação da recuperação dos metais. O procedimento é normatizado pela *NBR 10005/87*.

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho trata de um projeto do Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade La Salle/Canoas-RS e, portanto, ainda não dispõe de resultados. No entanto, conforme a literatura encontrada, o reaproveitamento de areia de fundição como parte do agregado fino em misturas asfálticas densas é viável, tanto do ponto ambiental quanto às propriedades mecânicas.

### **REFERÊNCIAS**

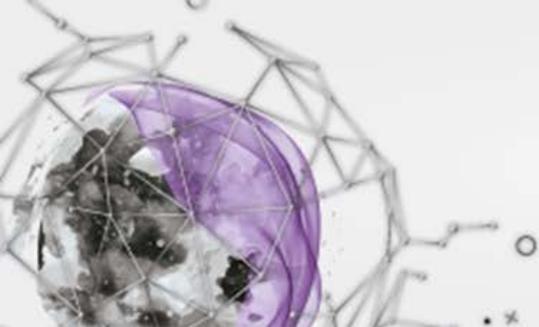
MARIOTTO, C.L. *Regeneração de areias de fundição*. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais – SMA/SP. p. 203-211.2000

BRADASCHIA, C. et al. *Fundição de ligas não ferrosas*. Notas de aulas. ABM - Associação Brasileira de Metais. 3.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Édile Serviços gráficos e editora Ltda.1981

KONDIC, V. *Princípios metalúrgicos de fundição*. Tradução de Cláudio Luiz Mariotto e outros. São Paulo: Polígono, Ed. da Universidade de São Paulo.1973

SANTANA, H. *Manual de pré-misturados a frio*. Instituto Brasileiro de Petróleo, Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, 1993.

DUARTE, Iberê. *Noções Básicas de Fundição*. Apostila Curso Técnico de metalurgia. Escola Técnica Tupy.1997



GIÃO, Diana; COSTA, Orquídea. *Tecnologia da fundição em areia verde*. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal. 2001.

SIEGEL, M. et al. *Fundição*. Notas de aulas. ABM -Associação Brasileira de Metais. 13.ª ed. São Paulo: Édile Serviços gráficos e editora Ltda.1982

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *ME 138/94*: Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração. Rio de Janeiro.1994

\_\_\_\_\_. *ME 043/95*: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro.1995

\_\_\_\_\_. *ME 084/95*: Agregado miúdo – determinação de densidade real. Rio de Janeiro.1995

\_\_\_\_\_. *ME 035/98*: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro.1998

\_\_\_\_\_. *ME 081/98*: Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro. 1998

\_\_\_\_\_. *ME 083/98*: Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro.1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004/87*: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 1987

\_\_\_\_\_. *NBR 10005/87*: Lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro. 1987

\_\_\_\_\_. *NBR 10006/87*: Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro. 1987

\_\_\_\_\_. *NBR 10007/87*: amostragem de resíduos. Rio de Janeiro. 1987

\_\_\_\_\_. *NBR 7207/87*: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro.1987