

# INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM MISTURAS ASFÁLTICAS USINADAS A QUENTE: AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES PRESENTES NA ÁGUA DE SOLUBILIZAÇÃO E DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

*Incorporation of foundry sand waste in hot asphaltics mixtures: evaluation of components present in solubilization water and mechanical behavior*

Rodrigo Limana Salla<sup>1</sup>  
Gislaine Luvizão<sup>2</sup>

## RESUMO

O processo de fundição é um dos principais geradores de resíduos do mundo, conhecido como resíduo de areia de fundição (RAF). Por esse motivo há grande preocupação com a reutilização desse material de forma não agressiva ao meio ambiente. O presente estudo teve por objetivo avaliar quimicamente os componentes presentes na água de solubilização das diversas misturas asfálticas usinadas a quente com adição de RAF. A dosagem foi realizada pelo método Marshall, utilizando cinco teores de cimento asfáltico de petróleo (CAP). A partir do traço padrão foi encontrado o teor ótimo de CAP de 4,9% para a mistura. A porcentagem de resíduo de areia de fundição utilizada foi de 10%, quantia que foi substituída do pó de pedra. Os resultados químicos para Chumbo, Cobre, Cromo e Zinco foram satisfatórios pois os valores ficaram acima do normatizado, contudo foi verificada alteração acima do limite no composto Ferro. Os valores obtidos para os fenóis, da amostra padrão, ficaram acima do estipulado pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004a); já as amostras contendo RAF resultaram em valores abaixo do normatizado, podendo, assim, o resíduo ter auxiliado no processo de estabilização dos fenóis das amostras. Dessa forma, a reutilização do RAF é indicada para misturas asfálticas, contudo, para seu emprego, deve ser realizada uma ampla análise química do resíduo, de modo a prevenir problemas ambientais.

Palavras-chave: Resíduo de areia de fundição. Dosagem Marshall. Compostos químicos.

## Abstract

*The foundry process is one of the world's leading waste generators, known as Foundry Sand Residue (RAF). Given this reason the great concern in the re-use of this material in a non-aggressive way to the environment. The present study has as objective to evaluate chemically the components present in the water of solubilization of the various asphalt mixtures hot machined with addition of RAF. The dosage was performed by the Marshall method, using five levels of asphalt petroleum cement (CAP). From the standard trace the optimum CAP content of 4.9% was found for the blend. The percentage of foundry sand residue used was 10%, this amount was substituted for the stone powder. The chemical results for Lead, Copper, Chrome and Zinc were satisfactory because the values were above the normalized, however, it was verified a change above the limit in the compound Iron. The values obtained for the phenols of the standard sample were higher than those stipulated by the standard NBR 10004 (ABNT, 2004), since the samples containing RAF resulted in values below the normalized, so that the residue could have aided in the stabilization process of the phenols of the samples .*

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; rodrigossalla77@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Graduada em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

*Thus, reuse of RAF is indicated for asphalt mixtures, however, for its use, a broad chemical analysis of the waste must be carried out in order to prevent environmental problems.*

*Keywords: Casting Sand Residue. Marshall dosage. Chemical compounds.*

Recebido em 26 de setembro de 2018

Aceito em 26 de março de 2019

## 1 INTRODUÇÃO

O procedimento de fundição é basicamente determinado para conformação de ligas metálicas utilizando moldes, permitindo que qualquer tipo de matéria-prima aquecida até seu ponto de fusão, tornando-a líquida para então poder ser disposta no molde, materializando-se de acordo com o projeto; a moldagem pode ser usada para fabricar uma ferramenta ou simplesmente peças decorativas.

A areia de fundição é um dos resíduos sólidos mais produzidos no Brasil em razão da moldagem de peças de metal em grande escala por indústrias de fundição. Muitas empresas ainda não conseguem reutilizar esse material, por esse motivo há a preocupação em dar um destino correto para ele, podendo ser uma opção utilizá-lo em misturas asfálticas.

Entretanto, tem-se uma grande preocupação no que diz respeito ao aspecto ambiental, se esse material ficará ou não encapsulado na mistura ou se o resíduo será liberado normalmente no meio ambiente; dessa maneira, para verificação da possibilidade de utilização da areia de fundição, faz-se a análise do extrato solubilizado dos corpos de prova moldados, para posteriormente comparar os resultados com os parâmetros indicados pela NBR 10004 (ABNT, 2004a).

Esta pesquisa tem por objetivo o estudo da adição do resíduo de areia de fundição em misturas asfálticas, na tentativa de contribuir no reaproveitamento desses materiais, diminuindo significativamente os impactos ambientais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 FUNDIÇÃO

Segundo Kondic (1973), a fundição tem por objetivo produzir peças com formatos preestabelecidos que são obtidas pela solidificação do metal líquido dentro do molde, onde suporta altas temperaturas em contato com o fogo, com alterações quase insignificantes no formato das peças.

O processo de fundição consiste basicamente na fusão de um metal que é vazado em um molde feito de areia e ligantes, e ao solidificar-se gera uma peça com o formato desejado, gerando um resíduo conhecido como resíduo de areia de fundição; dependendo do tipo de metal vazado, as fundições podem ser divididas em ferrosas e não ferrosas (WINKLER; BOL'SHAKOV, 2000).

### 2.2 GERAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE AREIA DE FUNDIÇÃO

A moldagem em areia verde é realizada com uma mistura composta basicamente de argila e água, E o processo recebe esse nome pois não necessita secagem do molde. A areia utilizada pode ser natural, quando encontrada na natureza, ou sintética, quando misturada, tomando-se por base areias lavadas e argilas selecionadas, ou, ainda, pode ser areia semissintética, obtida com areia natural e adição de elementos para retificar as suas propriedades de origem (COUTINHO NETO, 2004).

A reutilização da areia de fundição faz-se necessária para evitar a inadequada disposição desse resíduo e também porque essa atividade utiliza muitos materiais extraídos da natureza, como areias e argilas. Dessa forma, pode-se minimizar o uso desses recursos e contribuindo, assim, para a diminuição da poluição do meio ambiente (COUTINHO NETO, 2004).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (NBR 10004; ABNT, 2004a).

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004a, p. 2) “A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.”

## 2.4 PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADOS POR METAIS PESADOS

Conforme descrito por Alexandre *et al.* (2012), um dos principais problemas ambientais é o lançamento de metais pesados em locais desapropriados, pois quando atingem o solo em grandes quantidades acabam depreciando a fauna, a flora e as águas superficiais e subterrâneas.

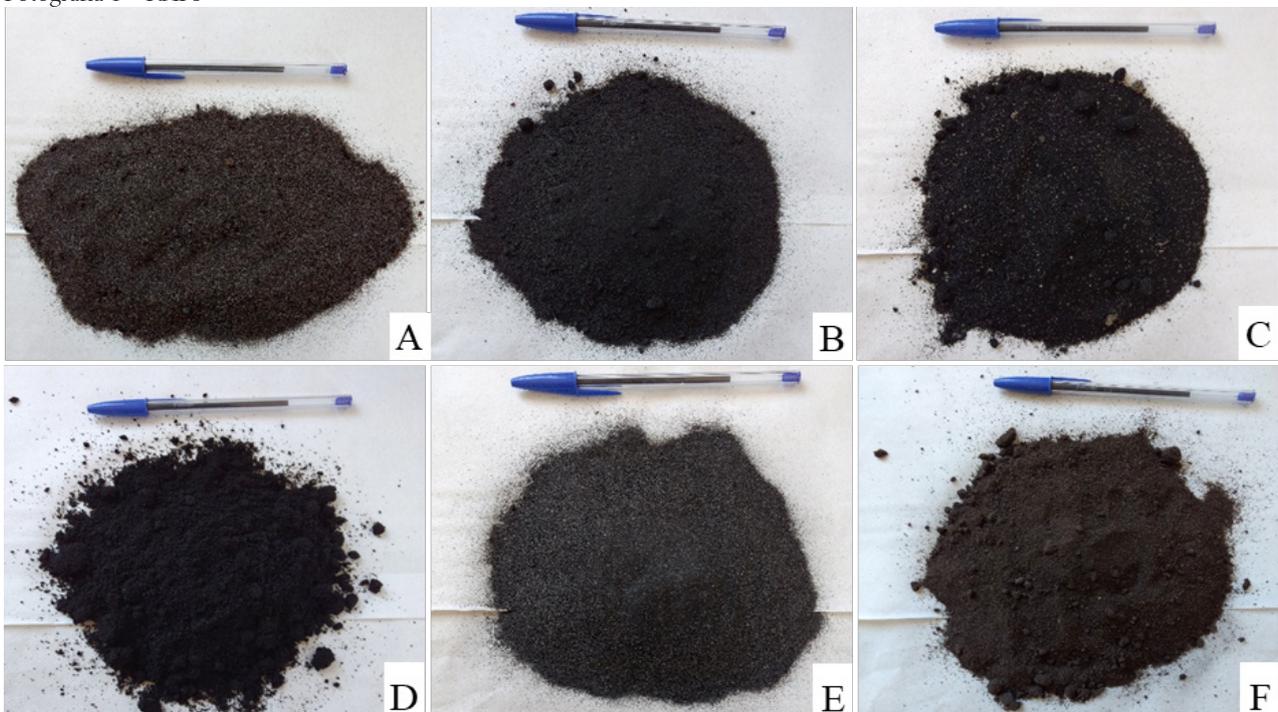
A contaminação do solo por metais pesados influencia o bom desenvolvimento da flora. Quando apresentados teores mais elevados que a faixa considerada tóxica para o crescimento de diversas espécies, evidenciando o grau de toxicidade para as plantas contido nesses elementos quando expostas a grandes quantidades (SOARES *et al.*, 2001).

## 3 METODOLOGIA

Para desenvolvimento da mistura asfáltica foram utilizados agregados pétreos como brita I, pedrisco, pó de pedra e ligante tipo cimento asfáltico de petróleo (CAP). Como o principal objetivo da pesquisa foi avaliar a incorporação de resíduo de areia de fundição (RAF) na mistura asfáltica, foi substituída parte do agregado miúdo por RAF.

Os RAF (Fotografia 1) foram coletados em seis cidades do Estado de Santa Catarina, sendo elas: Joaçaba, São Miguel do Oeste, Lages, Jaraguá do Sul, Gaspar e Criciúma.

Fotografia 1 – RAFs

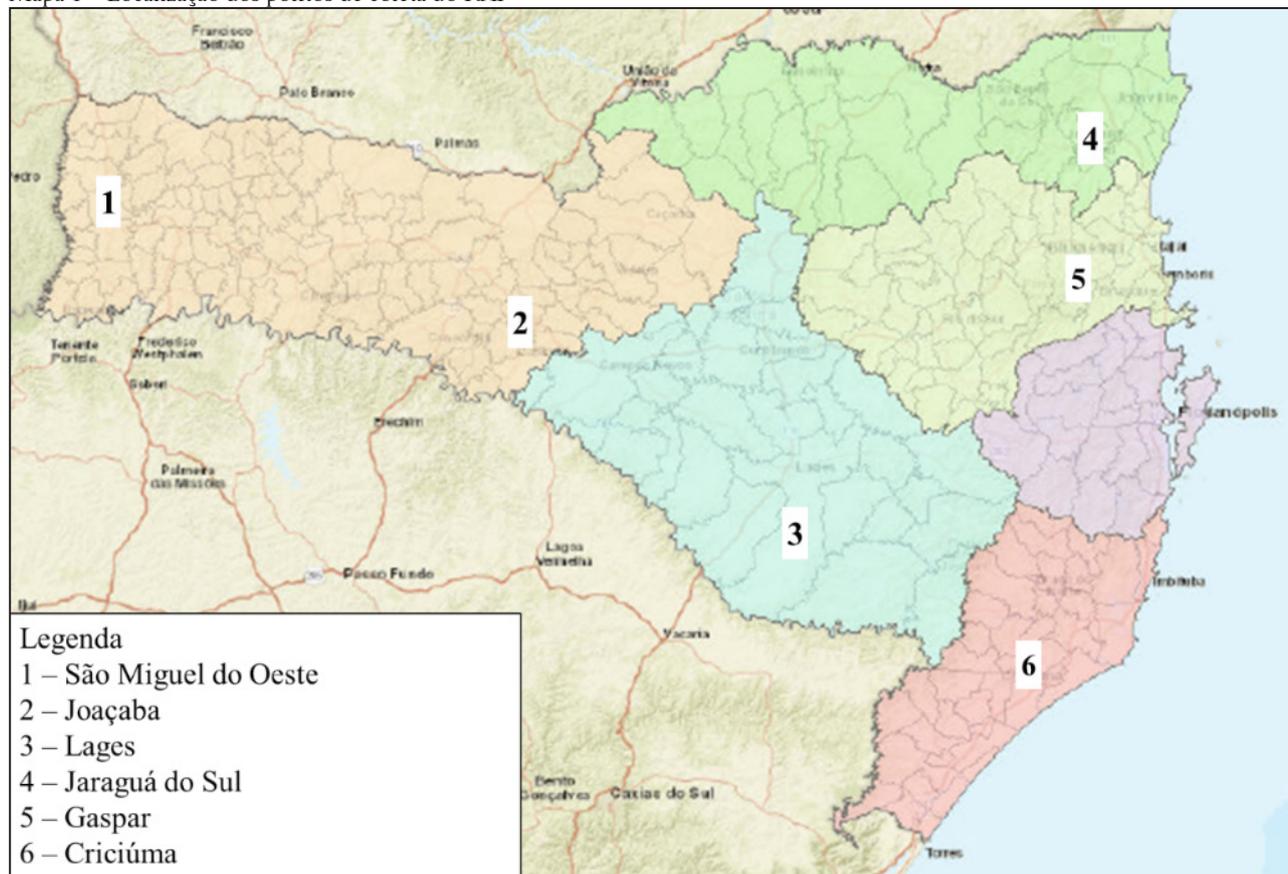


Fonte: os autores.

Nota: (A) Joaçaba, (B) São Miguel do Oeste, (C) Lages, (D) Jaraguá, (E) Gaspar, (F) Criciúma.

As cidades foram escolhidas pelo fato de cada uma estar localizada em uma macrorregião do Estado (Mapa 1) permitindo haver parâmetros distintos para uma melhor avaliação dos resíduos de cada região. As empresas que disponibilizaram esses resíduos preferiram não serem identificadas, a fim de proteger a integridade de sua marca.

Mapa 1 – Localização dos pontos de coleta do RAF



Fonte: adaptado de Souza *et al.* (2012).

Foram realizados ensaios laboratoriais para caracterização do ligante e dos agregados utilizados na mistura, os quais foram classificados como agregados graúdos e miúdos. Também se caracterizou o ligante utilizado, seguindo as normas vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) para cada tipo de agregado. O RAF foi caracterizado mediante análise granulométrica (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1998), densidade real (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1995) e inchamento de areia (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1997).

### 3.1 DOSAGEM DA MISTURA

Para este estudo optou-se pela utilização da faixa granulométrica C referente à norma DNIT-ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRÂNSITO, 2006). A faixa foi escolhida em razão da maior aplicabilidade em obras de pavimentação em CAUQ na região Sul do Brasil. A realização da mistura asfáltica a quente ocorreu por meio do método Marshall, seguindo as orientações prescritas na norma DNER-ME 043 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1995).

A proporção dos materiais utilizados foi de 15% de brita I, 30% de pedrisco, 45% de pó de pedra e 10% do resíduo de areia de fundição. Foram moldados três corpos de prova para cada resíduo de areia de fundição (seis tipos diferentes de resíduo), e dois corpos de prova sem resíduo, para a comparação da análise química, resultando em 20 corpos de prova.

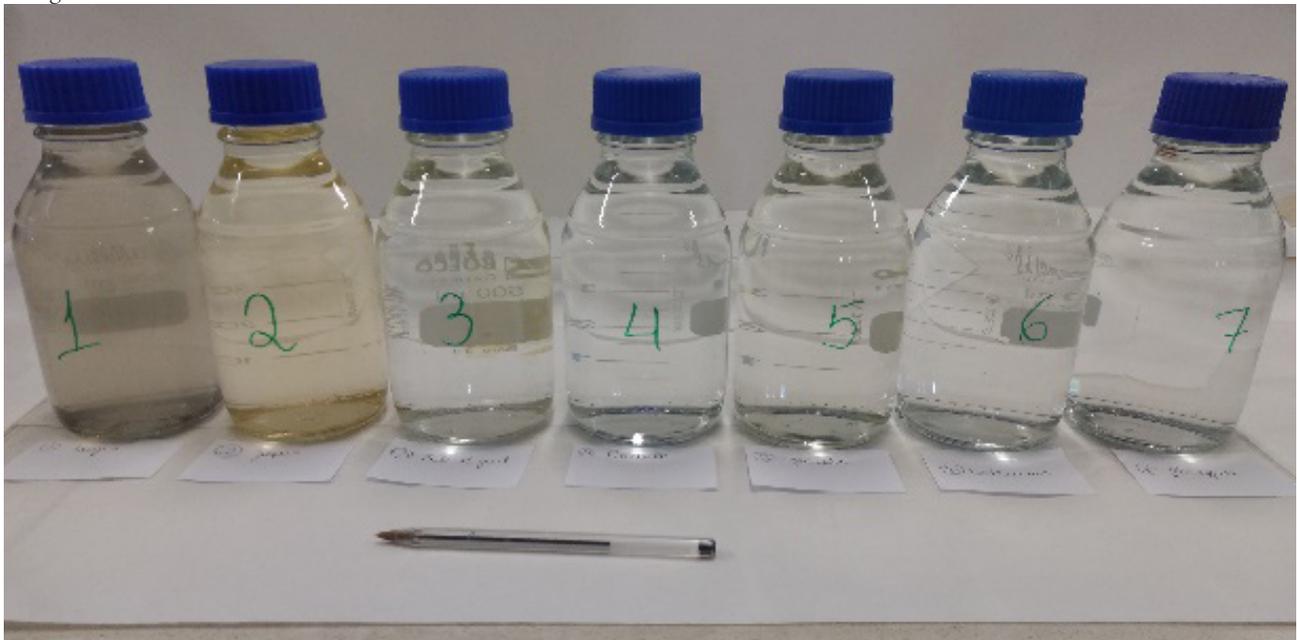
### 3.2 ANÁLISE QUÍMICA

Para a obtenção do extrato solubilizado seguiu-se a norma NBR 10.006 (ABNT, 2004b). Após todos os corpos de prova moldados, estes foram submetidos ao ensaio de solubilização. Primeiramente colocou-se o corpo de prova dentro de um recipiente, adicionou-se em torno de um litro de água destilada, cobriu-se o frasco com plástico filme de PVC, deixando-o em repouso durante sete dias em temperatura controlada de 25 °C em uma sala climatizada.

Para cada localidade foi selecionada uma amostra, sendo considerado o maior valor de volume de vazios, tendo, assim, a pior situação. Foram escolhidos cinco metais para serem avaliados, sendo eles o Chumbo (Pb), o Cobre (Cu), o Cromo (Cr), o Ferro (Fe) e o Zinco (Zn). Além dos metais, foi avaliada também a possível existência de fenol na mistura. Executou-se uma amostra para cada tipo de resíduo de areia de fundição e também para uma amostra padrão (branca, sem resíduo). A Fotografia 2 mostra a água solubilizada já envazada, pronta para ser encaminhada para os laboratórios.

O extrato solubilizado foi encaminhado para o laboratório de saneamento da Unoesc, determinando, assim, se houve presença de metais pesados ou fenóis na mistura desenvolvida.

Fotografia 2 – Amostra solubilizada



Fonte: os autores.

## 4 RESULTADOS

O teor ótimo de ligante utilizado na mistura com adição de RAF foi de 4,90% obtido a partir do traço padrão. A Tabela 1 mostra as características referentes ao teor de CAP igual a 4,90% para o traço padrão com adição de RAF e também os valores de cada parâmetro calculado e os valores obtidos por intermédio do rompimento dos corpos de prova.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros de dosagem e valores após rompimento dos CPs

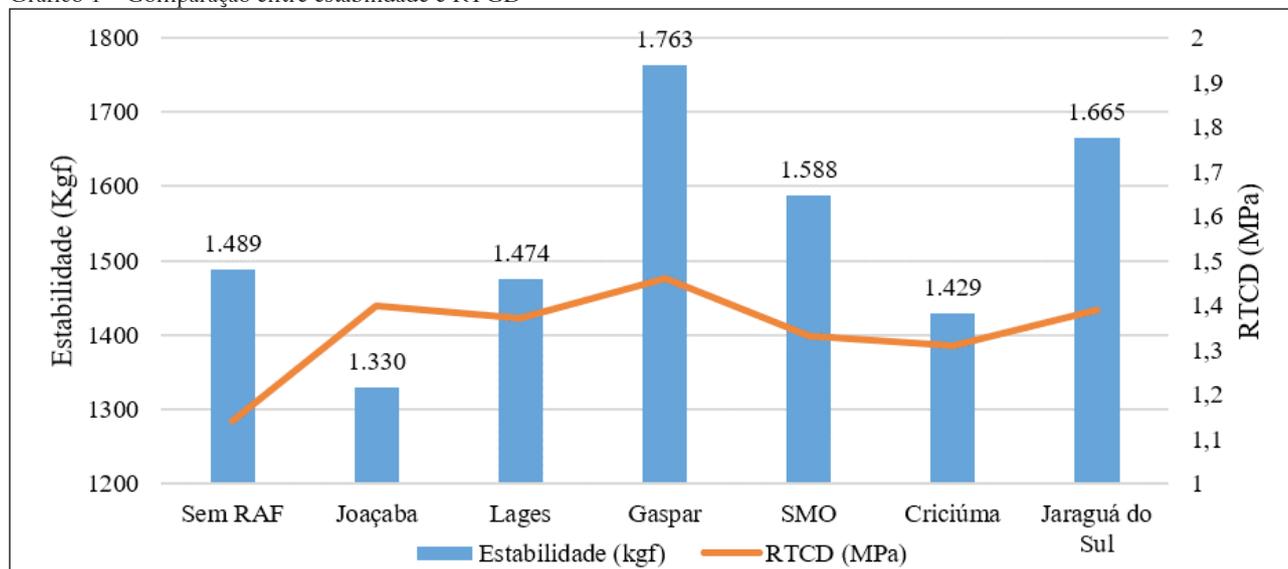
Parâmetro	Padrão	Joaçaba	Lages	Gaspar	SMO	Criciúma	JS
Teor ótimo de ligante (%)	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
DMT	2,62	2,61	2,59	2,65	2,65	2,60	2,59
GMB	2,51	2,53	2,50	2,58	2,49	2,49	2,50
VV (%)	4,38	3,19	3,43	2,84	4,28	4,16	3,43
VAM (%)	16,69	15,59	15,71	15,49	16,47	16,39	15,71
RBV (%)	73,80	79,57	78,18	81,67	74,04	74,66	78,18
Estabilidade (kgf)	1488,51	1329,88	1474,49	1762,75	1587,58	1429,37	1664,86
Fluência (mm)	3,27	3,37	3,04	3,72	3,84	3,64	3,53
Resistência a Tração (Mpa)	1,14	1,40	1,37	1,46	1,33	1,31	1,39

Fonte: os autores.

Fazendo uma comparação dos valores obtidos para estabilidade e resistência à tração por compressão diametral das misturas com RAF e das sem o RAF, pode ser percebido que a adição contribuiu para o aumento da resistência em todas as amostras e a estabilidade em quatro das seis amostras analisadas, como pode ser observado no Gráfico 1.

O traço sem o RAF resultou em valores elevados para RTCD e estabilidade em relação aos padrões mínimos normatizados pela DNIT-ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRÂNSITO, 2006), em que é citado que a estabilidade mínima deve ser de 500,00 kgf e que a RTCD deve apresentar no mínimo 0,65 MPa. O valor obtido para o traço padrão foi de 1.488,51 kgf para estabilidade e 1,14 MPa para RTCD; para o traço com RAF, a que mais se destacou foi a de Gaspar, que apresentou valores de 1.762,75 kgf para estabilidade e 1,46 MPa para RTCD. Essa mistura apresentou o menor volume de vazios em relação às demais, e a massa específica do RAF foi a maior em razão da presença de grande quantidade de metal, auxiliando na sua resistência. Todas as amostras ficaram dentro dos limites estabelecidos pelas normas.

Gráfico 1 – Comparação entre estabilidade e RTCD



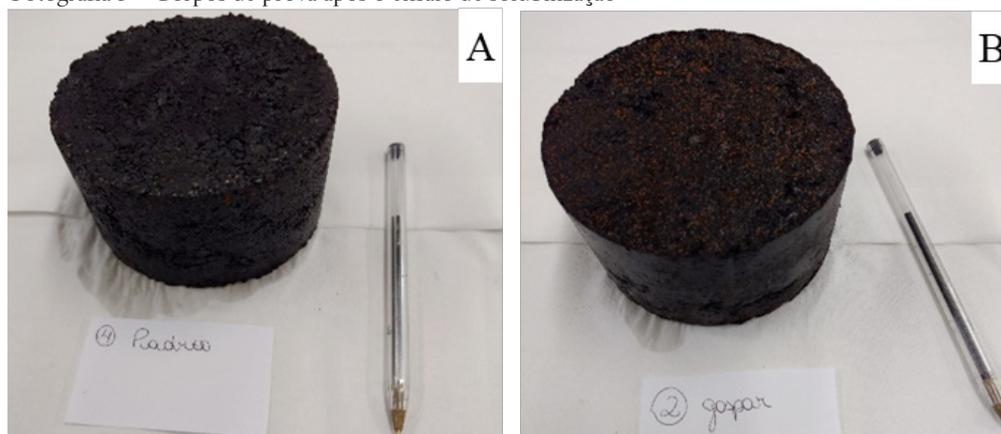
Fonte: os autores.

Os valores encontrados para a fluência das misturas foram satisfatórios, pois todos ficaram dentro dos limites estipulados pela norma do ES-P-05B (DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA, 2016), a qual estipula que a fluência deve ficar entre 2,00 e 4,00 mm.

## 4.1 ENSAIOS QUÍMICOS

Para a realização dos ensaios químicos, primeiramente os copos de prova passaram pelo processo de solubilização. A Fotografia 2 demonstra dois corpos de prova após o processo de solubilização, sendo que a Fotografia 2(A) é o corpo de prova sem o RAF e a Fotografia 2(B) é um dos corpos de prova com RAF, este que apresentou uma coloração avermelhada, decorrente da oxidação dos metais existentes na mistura (vindo da Cidade de Gaspar, com grande discrepância em comparação aos demais). Os corpos de prova contendo RAF de Joaçaba, Lages e Criciúma também apresentaram coloração avermelhada, porém com menor intensidade.

Fotografia 3 – Corpos de prova após o ensaio de solubilização



Fonte: os autores.

Nota: (A) sem RAF; (B) com RAF.

## 4.2 ENSAIOS DE FENÓIS

Os valores obtidos por meio do ensaio químico testando a possibilidade de haver metais pesados em teores elevados estão apresentados na Tabela 2. Entre os cinco metais analisados em todas as amostras, quatro resultaram em valores positivos, todos acima do preconizado pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), na qual está descrito que o limite de chumbo que a amostra pode conter é  $0,010 \text{ mgPb.L}^{-1}$  para Chumbo,  $2,00 \text{ mgCu.L}^{-1}$  para Cobre,  $0,05 \text{ mgCr.L}^{-1}$  para Cromo e  $5,00 \text{ mgZn.L}^{-1}$  para Zinco.

Tabela 2 – Resultados obtidos por meio dos ensaios químicos

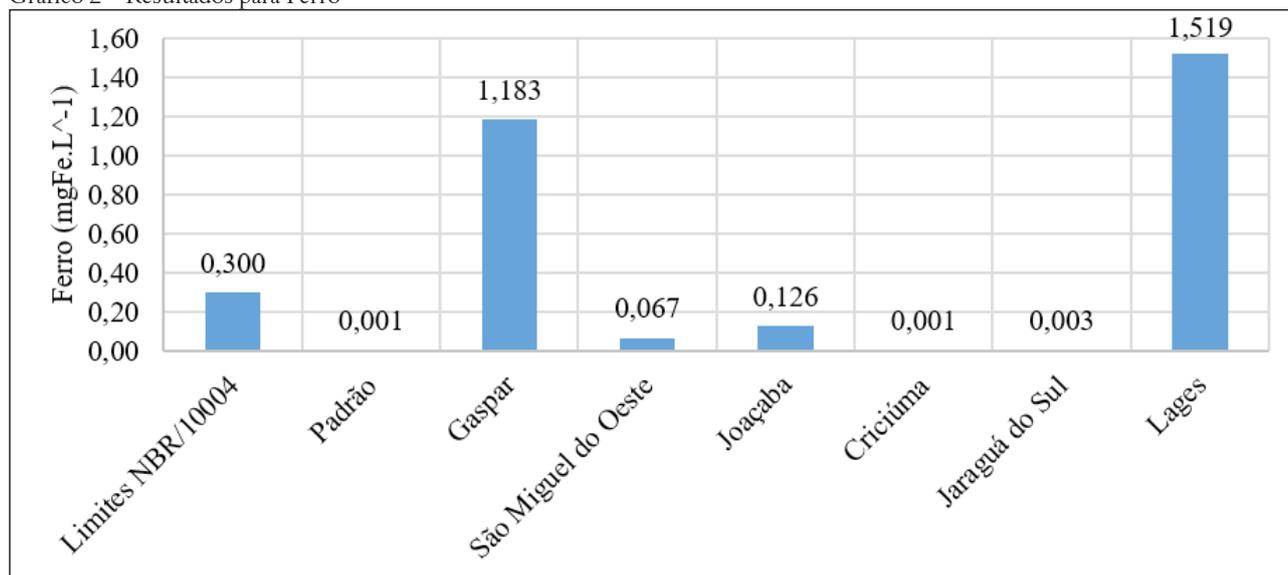
Localidade	Chumbo $\text{mgPb.L}^{-1}$	Cobre $\text{mgCu.L}^{-1}$	Cromo $\text{mgCr.L}^{-1}$	Ferro $\text{mgFe.L}^{-1}$	Zinco $\text{mgZn.L}^{-1}$	Fenol $\text{mg.L}^{-1}$
Limites NBR/10004	0,01	2,00	0,05	0,30	5,00	0,01
Padrão	0,001	0,007	0,001	0,001	0,006	0,014
Gaspar	0,001	0,010	0,001	1,183	0,006	0,002
São Miguel do Oeste	0,001	0,010	0,002	0,067	0,003	0,007
Joaçaba	0,002	0,012	0,002	0,126	0,006	0,005
Criciúma	0,003	0,012	0,002	0,001	0,010	0,010
Jaraguá do Sul	0,002	0,013	0,003	0,003	0,007	<0,01
Lages	0,002	0,007	0,001	1,519	0,012	<0,01

Fonte: os autores.

O Gráfico 2 apresenta os valores obtidos por meio do ensaio químico testando a possibilidade de haver ferro na amostra. Os valores máximos de ferro descritos na NBR 10004 (ABNT, 2004a) que a amostra pode conter é de  $0,300 \text{ mgFe.L}^{-1}$ . Dessa forma, pode ser observado que os valores obtidos em cinco amostras ficaram abaixo do máximo permitido pela norma, porém duas amostras excederam muito o valor limite, sendo elas a de Gaspar, apresentando

valor de 1,183 mgFe.L<sup>-1</sup>, e Lages, apresentando valor de 1,549 mgFe.L<sup>-1</sup>. Fazendo uma análise visual dos RAF é perceptível a grande quantidade de pó de metal como (Fotografia 1 (C) e Fotografia 1 (E)).

Gráfico 2 – Resultados para Ferro



Fonte: os autores.

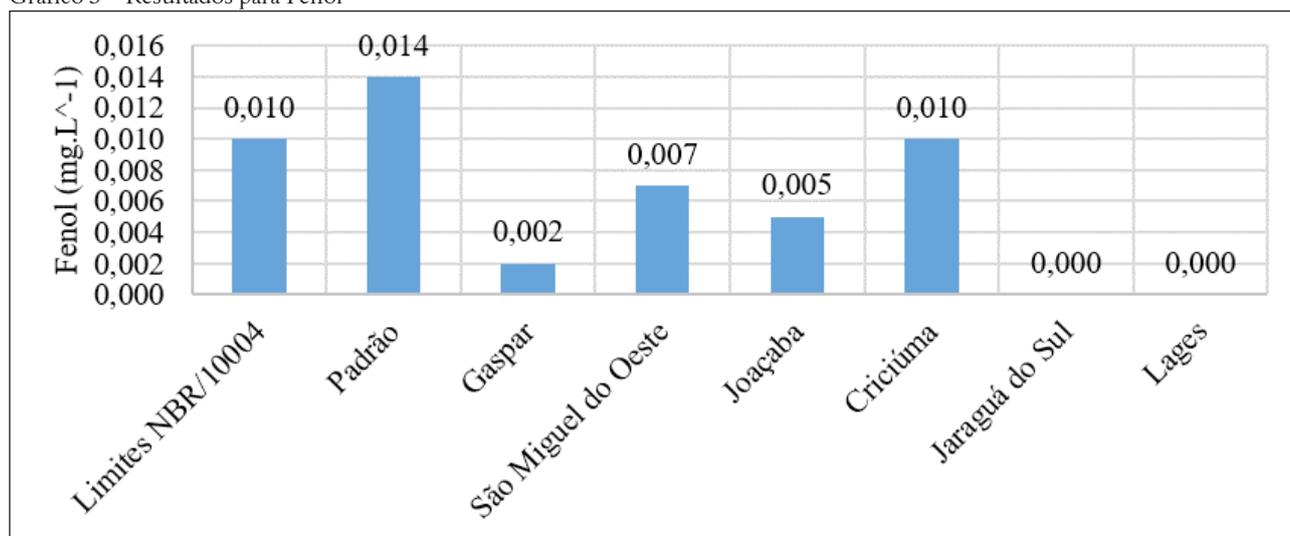
Com relação ao parâmetro de fenóis totais, obteve-se uma concentração menor ou igual ao parâmetro exigido pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004a) de 0,01 mg/L<sup>-1</sup>, enquanto a amostra padrão resultou em um valor de 0,014 mg.L<sup>-1</sup>, estando essa amostra acima do limite normatizado.

Um fator que deve ser analisado é a possível interferência dos materiais utilizados para se obter o RAF, esta que provém de uma mistura básica de água, areia natural e argila (Montmorillonita), pois pelos valores resultantes apresentados no Gráfico 3, a argila possivelmente auxiliou na estabilização da quantidade de fenóis presentes na mistura, assim como citado por Aragão *et al.* (2013), que conseguiram remover metais pesados da água de solubilização utilizando argila montmorillonita, sendo esse um ponto positivo para a utilização do RAF. Porém, muitos estudos ainda devem ser realizados para aferir a real causa da estabilização das amostras se a grande causadora desse efeito positivo foi mesmo a argila na mistura.

A reutilização dos RAFs na substituição de parte do pó de pedra resultou em boa eficiência das amostras, como boa resistência e estabilidade, sendo isso um ponto positivo para a mistura.

A incorporação de RAF em misturas asfálticas é recomendado, pois beneficiou a mistura nas características físicas e mecânicas, porém deve ser realizado um estudo com cada tipo de resíduo e analisar os ensaios químicos realizados, visto que duas das RAF estudadas resultaram em alteração nos valores de Fe. Além disso, cada empresa funde um tipo de aço, o que interfere diretamente nas características do resíduo final.

Gráfico 3 – Resultados para Fenol



Fonte: os autores.

Os metais pesados e os fenóis são grandes causadores de problemas ambientais quando lançados em excesso no solo e na água, interferindo diretamente na fauna e na flora do local; por esse motivo, antes de se utilizar o resíduo em misturas asfálticas ou em qualquer outra forma de mistura devem ser realizados estudos químicos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Determinou-se que a reutilização de RAF é uma opção viável para se utilizar em misturas asfálticas, pois se obtiveram valores satisfatórios nas características físicas e mecânicas contendo este resíduo.

Os resultados químicos para Chumbo, Cobre, Cromo e Zinco foram satisfatórios. Porém, para o composto Ferro, em duas amostras os valores ficaram muito acima do limite estipulado pela norma – as das Cidades de Gaspar, com 1,183 mgFe.L<sup>-1</sup>, e de Lages, com 1,519 mgFe.L<sup>-1</sup>. Os valores obtidos para os fenóis para a amostra padrão ficaram acima do estipulado pela norma, e as amostras contendo RAF resultaram em valores abaixo do normatizado, assim, conclui-se que a RAF auxiliou no processo de estabilização dos valores para fenóis das amostras.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, J. R. *et al.* **Zinco e Ferro**: de micronutrientes a contaminantes do solo. Vila Velha: Universidade Vila Velha, 2012.
- ARAGÃO, D. M. *et al.* Estudo Comparativo da Adsorção de Pb (II), Cd (II) e Cu (II) em Argila Natural Caulinítica e Contendo Montmorilonita. **Orbital: Electron. J. Chem.**, v. 5, n. 3, p. 157-163, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004 Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006 Resíduos Sólidos – Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2004b.
- COUTINHO NETO, B. **Reaproveitamento do Resíduo de Fundição em Misturas Asfálticas**. 2004 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA. **Pavimentação: Camadas De Misturas Asfálticas Usinadas A Quente. ES-P 05/16**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2016.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 043 – Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall**. Rio de Janeiro: [s. n.], 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 083 – Agregados – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro: [s. n.], 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 084 – Agregado Miúdo – Determinação da densidade real.** Rio de Janeiro: [s. n.], 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 192 – Material asfáltico – Determinação do inchamento do agregado miúdo.** Rio de Janeiro: [s. n.], 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRÂNSITO. **ES 031 – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: [s. n.], 2006.

KONDIC, V. **Princípios metalúrgicos de fundição.** São Paulo: Ed. Polígono, 1973.

SOARES, S. F. R. C. *et al.* Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústrias de zinco. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 302-315, 2001.

SOUZA, J. M. *et al.* **Sistema de Mapas para a Web do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina.** Epagri/Ciram, 2012. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/siffsc/>. Acesso em: 7 ago. 2017.

WINKLER, E. S.; BOL'SHAKOV, A. A. **Characterization of Foundry Sand Waste. Renewable Energy.** [S. l.: s. n.], 2000.