

# UTILIZAÇÃO DE PÓ DE EXAUSTÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO PARA OXIDAÇÃO ELETROLÍTICA ASSISTIDA POR PLASMA EM LIGA DE ALUMÍNIO\*

Carime dos Santos Souza<sup>1</sup>

Maria Lucia Pereira Antunes<sup>2</sup>

Luiz Veriano Oliveira Dalla Valentina<sup>3</sup>

Sandro Donnini Mancini<sup>4</sup>

Elidiane Cipriano Rangel<sup>5</sup>

Nilson Cristino da Cruz<sup>6</sup>

## Resumo

Na fundição, para a fabricação das peças são utilizados moldes cerâmicos. Como resíduo deste processo é gerado o pó de exaustão. Visando a valorização deste resíduo, este trabalho propõe o seu uso para a produção de revestimentos, como filme de proteção em uma superfície de liga de alumínio, através da técnica de oxidação eletrolítica assistida por plasma (do inglês: *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO)). O PEO é um processo em que o plasma atmosférico e a eletrólise convencional são combinados para a alteração de superfícies metálicas em óxidos cerâmicos. Foram obtidos recobrimentos em ligas de alumínio 5052, através da PEO, utilizando solução eletrolítica preparada com pó de exaustão e água destilada nas concentrações de 5 g/L e 10 g/L. O plasma eletrolítico foi obtido aplicando-se uma diferença de potencial de 650 V, frequência de 200 Hz e utilizando tempo de deposição de 300s, 600s e 900s. Os revestimentos foram analisados por ensaio de desgaste por pino-sobre-disco. O ensaio mostrou que a placa de alumínio sem tratamento perde muita massa em relação ao pino que é de aço. Os revestimentos obtidos têm ganho de massa indicando serem abrasivos, retirando massa do pino.

**Palavras-chave:** Resíduo de fundição; Revestimento cerâmico; Plasma eletrolítico; Alumínio 5052.

## ASSESSMENT OF THE VIABILITY OF PRODUCTION OF CERAMIC TILES FROM WASTE GENERATED IN THE CASTING PROCESS USING PLASMA ELECTROLYTIC OXIDE OF ALUMINUM ALLOY

### Abstract

In the casting, ceramic molds are sent to a manufacturing of parts. As the process is generated the exhaust dust. Aiming at the recovery of this residue, this work proposes its use for the production of coatings, as a protective work on an aluminum surface, through the technique of electrolytic oxidation of plasma (PEO). PEO is a process in which atmospheric plasma and conventional electrolysis are combined for the change of metal surfaces in ceramic oxides. Alloys were obtained in aluminum 5052 through the PEO using the electrolytic solution prepared with exhaust powder and distilled water at concentrations of 5 g/L and 10 g/L. The electrolytic plasma was obtained by applying a potential difference Of 650V, frequency of 200Hz and using time of deposition of 300s, 600s and 900s. The coatings were analyzed by pin-on-disc wear test. The test showed that it is an untreated aluminum plate loses much mass compared to the pin which is steel. The obtained coatings have mass gain indicating to be abrasive, removing mass from the pin.

**Keywords:** Casting residue; Ceramic coating; Plasma electrolytic; Aluminum 5052.

<sup>1</sup> *Engenheira Ambiental, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, SP, Brasil.*

- <sup>2</sup> *Bacharelado e Licenciatura em Física, Doutorado em Física, Professor adjunto do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/ICT - Sorocaba), Orientadora (mestrado e doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP (Interunidades), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/ICT), Sorocaba, São Paulo, Brasil.*
- <sup>3</sup> *Engenharia Mecânica, Doutorado em Engenharia de Produção, Professor Titular da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, Santa Catarina, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Graduação em Engenharia de Materiais, Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais, Livre-Docência em Materiais e Reciclagem, Especialização em Jornalismo Científico, Professor Adjunto do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/ICT), Sorocaba, São Paulo, Brasil.*
- <sup>5</sup> *Licenciatura em Física, Doutora em Ciências, Professor Adjunto na UNESP - Campus de Sorocaba e de Vice-Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/ICT), Sorocaba, São Paulo, Brasil.*
- <sup>6</sup> *Bacharel em Física, Doutor em Física e Livre-docente em Estrutura da Matéria, Professor adjunto na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/ICT), Sorocaba, São Paulo, Brasil..*

## 1 INTRODUÇÃO

O setor industrial desenvolveu por bastante tempo atividades sem a devida preocupação com os recursos naturais e a quantidade de resíduos gerados. A crescente demanda da indústria e o alto consumo de matérias primas vêm despertando o interesse na questão ambiental, em particular a valorização de resíduos [1].

A valorização de resíduos consiste em reutilizá-los, propondo uma aplicação mais nobre do que a destinação final em aterros sanitários. Possibilitando assim, uma alternativa interessante de aproveitar boa parte dos materiais que normalmente estariam dispostos no solo, degradando o meio ambiente [1].

A indústria metalúrgica é grande consumidora de matérias-primas e conseqüentemente, grande geradora de resíduos. Os resíduos de fundição, como: areia, cavaco de usinagem e pó de exaustão são alguns dos resíduos gerados em seus processos [2].

No processo de fundição são utilizadas toneladas de areia para a produção de moldes, onde são vazados os metais líquidos para a fabricação de peças. Após a solidificação do metal, esses moldes são quebrados. Uma parte do material que não pode ser reutilizado no processo, bem como os finos (ou pó de exaustão) que são captados no sistema de exaustão, são descartados como resíduos. Estima-se que para cada tonelada de metal fundido se tenha uma tonelada de areia de fundição descartada [3].

No Brasil, o volume de areia de fundição descartada gira em torno de 3,34 milhões de toneladas/ano [4] e, em quase sua totalidade, estes resíduos são classificados como Classe II-A (não perigoso e não inerte) de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT [5].

Em decorrência do grande volume de areia e finos dispostos nos aterros sanitários, seus possíveis impactos ambientais, altos custos envolvidos nestas operações, ou mesmo por pressões legais e da sociedade, as empresas do setor de fundição vêm buscando desenvolver técnicas que visem o reaproveitamento destes resíduos [2].

Apesar da possibilidade de conter elementos como metais pesados e resinas, a areia de fundição é uma excelente alternativa para aplicações. Vários estudos são realizados visando sua reutilização, em sua grande maioria envolvendo o setor da construção civil. São apresentados resultados positivos na aplicação destes materiais na confecção de pavimentos de concreto [6]; como agregado em misturas asfálticas [7] e [8]; em concreto asfáltico [9]; em massa cerâmica [10]; na confecção de concreto, tijolos cerâmicos e solo-cimento [11] e [12]; e em argamassa [13]; [2] e [14].

Neste contexto, este trabalho visa estudar a aplicação deste resíduo, como revestimento cerâmico em liga de alumínio, obtido através da técnica de oxidação eletrolítica assistida por plasma (do inglês: *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO)). Os materiais encontrados em sua composição, como o Fe, Si, Ti e Al, possibilitam o uso alternativo neste processo. Os revestimentos obtidos foram caracterizados quanto a sua resistência ao desgaste, verificando assim uma aplicação mais nobre para este resíduo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O pó de exaustão de areia de fundição (Figura 1) foi fornecido por uma planta industrial da fundição Tupy, localizada em Joinville, Santa Catarina. Esse material foi utilizado para produção de revestimentos cerâmicos em liga de alumínio 5052, como recebido, não sendo feito nenhum tratamento especial.



**Figura 1.** Pó de exaustão de areia de fundição.

Os elementos do resíduo fornecido pela fundição Tupy foram caracterizados por espectroscopia de fluorescência de raios-X, no Centro de Tecnologia-LDCM em Materiais da Instituição SENAI em Criciúma/SC e sua composição esta apresentada na Tabela 1.

O material analisado é composto em sua maioria por sílica (83,13 %) óxido de alumínio (9,61 %) e óxido de ferro (4,13 %) além de outros elementos em pequenas quantidades.

**Tabela 1.** Análise química e de absorção atômica do pó de exaustão

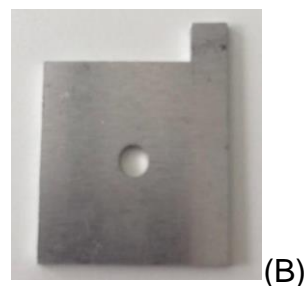
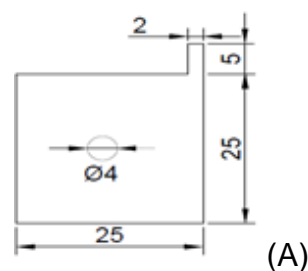
| Elemento                       | Teor (%) |
|--------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 83,13    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,61     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,13     |
| K <sub>2</sub> O               | 1,59     |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,50     |
| MgO                            | 0,45     |
| CaO                            | 0,25     |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,25     |
| MnO                            | 0,05     |
| P <sub>2</sub> O               | 0,04     |

Fonte: Pereira (2014) [2].

### 2.1 Preparo dos substratos de liga de alumínio para deposição por PEO

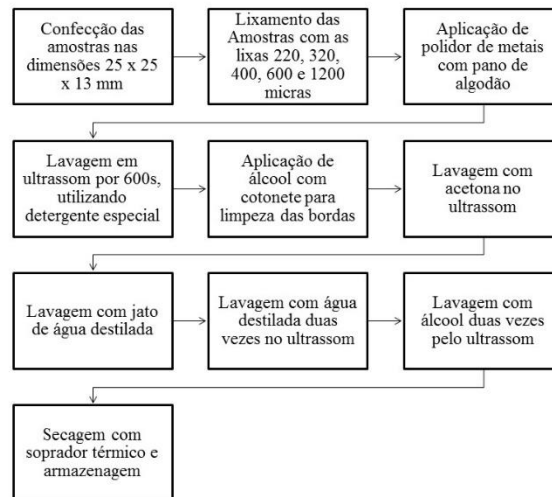
O substrato que foi utilizado para as deposições é composto de uma liga de alumínio 5052 com a seguinte composição em massa: de 0,10 % de Cu, 0,10 % de Mn, 0,10 % de Zn, 0,15 a 0,35 % de Cr, 0,25 % de Si, 0,40 % de Fe, 2,2 a 2,8 % de Mg e a porcentagem restante de alumínio [15].

Os substratos, como apresentados na Figura 2, possuem a dimensão: 25 x 25 x 1,3 mm, foram preparadas com um apêndice para a fixação no sistema eletrolítico e são providos de um furo central (diâmetro de 4 mm) para ensaios de resistência mecânica.



**Figura 2.** Geometria (mm) (A) e substrato utilizado para deposições (B).

Os substratos foram polidos com lixas de 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh, obtendo-se o polimento final com o auxílio de uma micro retífica e agente polidor. Em seguida as amostras foram limpas com detergente especial, acetona, álcool e água destilada em ultrassom. As amostras foram preparadas conforme o fluxograma apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Fluxograma das etapas de preparação das amostras.

## 2.2 Processamento a plasma

Os revestimentos foram depositados por oxidação eletrolítica a plasma, sendo a fonte de tensão MAO-30 da Plasma Technology Ltd. do Laboratório de Plasmas Tecnológicos LapTec da UNESP Sorocaba, Figura 4. As principais especificações técnicas da fonte são apresentadas na Tabela 2.



**Figura 4 -** Sistema do plasma eletrolítico: Fonte de tensão (A) e Sistema de eletrólise (B).

**Tabela 2.** Principais especificações da fonte de tensão

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Voltagem</b>          | Polo positivo: 80 – 800 V<br>Polo negativo: 20 – 200 V |
| <b>Frequência</b>        | 30 – 3000 Hz   |
| <b>Corrente de saída</b> | 3 – 30 A   |
| <b>Ciclo de trabalho</b> | 10 – 80 %  |

Fonte: Plasma Technology, [s.d] [16].



O sistema de eletrólise é constituído pelos eletrodos com o substrato de liga de alumínio fixado no anodo, onde foram depositados os filmes cerâmicos. E por um cátodo retangular curvo de aço inoxidável, de dimensões de 15,6 x 6 cm, e pela solução eletrolítica que foi colocada em um béquer de 500 mL. A fim de garantir a homogeneidade da solução, utilizou-se um agitador mecânico acoplado ao sistema.

A solução eletrolítica foi preparada com pó de exaustão, água destilada e 2 pastilhas de hidróxido de potássio (para atingir a condutividade necessária) nas concentrações de 5 g/L e 10 g/L de pó de exaustão.

O plasma eletrolítico foi obtido aplicando-se uma diferença de potencial de 650 V, frequência de 200 Hz e utilizando tempo de deposição de 300 s, 600 s e 900 s. Os revestimentos estudados neste trabalho foram obtidos variando-se a concentração da solução e o tempo de revestimento. A Tabela 3 apresenta a denominação das amostras (Série) e os parâmetros utilizados para sua obtenção.

**Tabela 3.** Parâmetros variados no planejamento experimental

| Série | Concentração (g/L) | Tempo (segundos) |
|-------|--------------------|------------------|
| 1     | 5                  | 300              |
| 2     | 5                  | 600              |
| 3     | 5                  | 900              |
| 4     | 10                 | 300              |
| 5     | 10                 | 600              |
| 6     | 10                 | 900              |

## 2.3 Técnicas de caracterização

### 2.3.1 Espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

A composição elementar foi determinada através da técnica de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

Para isso, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM-6010LA do Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais (LMCMat) da UNESP de Sorocaba. As amostras foram colocadas em um porta amostras sendo fixadas por fita de carbono. As análises (espectroscopia) foram realizadas com a mesma amostra.

Para a realização das análises foram escolhidas quatro regiões diferentes de cada amostra, com os aumentos de 950, 2500, 5000 e 9500 vezes, utilizando o *spot size* de aproximadamente 4 nm de diâmetro. Além disso, três regiões distintas foram analisadas quantitativamente por pontos, cada uma com seis pontos, dando um total de 18 pontos, por amostra.

### 2.3.2 Ensaio de desgaste por pino-sobre-disco

Foi feita a caracterização do resíduo pó de exaustão de areia de fundição, do substrato de alumínio e das amostras utilizando a técnica analítica de resistência mecânica dos revestimentos através do ensaio de desgaste por pino-sobre-disco.

A resistência mecânica dos revestimentos foi verificada através do ensaio de desgaste por pino-sobre-disco. O equipamento de desgaste está localizado no Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais (LMCMat) da UNESP de Sorocaba e conta com um plano circular ligado a um motor, ajuste de rotação, um braço com suporte para pino e carga.

Os testes foram feitos de acordo com os parâmetros da Tabela 4. Para a mesma condição de deposição foram realizados três ensaios, obtendo-se uma média a partir dos valores de massa, já que a densidade das amostras é desconhecida, inviabilizando o estudo por perda de volume. As massas, tanto do pino como da

amostra, foram medidas antes e depois do ensaio, com o auxílio de uma balança Quimis®, com precisão de 0,1 mg.

**Tabela 4.** Parâmetros do ensaio de desgaste por pino-sobre-disco

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| <b>Velocidade (m/s)</b>              | 0,0631 |
| <b>Distância percorrida (m)</b>      | 56,79  |
| <b>Diâmetro da trilha</b>            | 18     |
| <b>Tempo de ensaio (minutos)</b>     | 15     |
| <b>Diâmetro do pino (mm)</b>         | 4      |
| <b>Pressão sobre a amostra (Mpa)</b> | 0,106  |
| <b>Temperatura (°C)</b>              | 23     |

O pino de aço utilizado foi 9861 HSS M2, com a seguinte composição nominal em porcentagem de massa (Tabela 5), de acordo com a ABNT.

**Tabela 5.** Composição química do pino utilizado para o desgaste

| Elemento | C              | Mn             | P    | S    | Si             | Cr             | V              | W              | Mo             |
|----------|----------------|----------------|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| %        | 0,78 –<br>0,88 | 0,15 –<br>0,40 | 0,03 | 0,03 | 0,20 –<br>0,45 | 3,75 –<br>4,50 | 1,75 –<br>2,20 | 5,50 –<br>6,75 | 4,50 –<br>5,50 |

Fonte: ABNT, 2005 [17].

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

Os resultados da análise de seis pontos por EDS são apresentados na Tabela 6, que apresenta as porcentagens dos elementos encontrados para a média de cada série.

**Tabela 6.** Porcentagem dos elementos encontrados, por pontos, por EDS.

| Elementos | Série 1 | Série 2 | Série 3 | Série 4 | Série 5 | Série 6 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C         | 8,65    | 9,21    | 10,74   | 7,95    | 5,50    | 8,17    |
| O         | 47,21   | 43,35   | 49,53   | 51,77   | 55,13   | 54,34   |
| Mg        | 1,69    | 1,46    | 1,66    | 3,40    | 3,11    | 3,51    |
| Al        | 41,17   | 41,04   | 39,08   | 37,03   | 40,15   | 32,61   |
| Si        | 2,17    | 10,11   | 2,79    | 0,74    | 0,75    | 3,39    |
| P         | 0,23    | 0,14    | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Ca        | 0,49    | 8,23    | 0       | 0,62    | 0       | 0,50    |
| Fe        | 0,18    | 4,45    | 6,08    | 14,28   | 0       | 1,50    |
| K         | 0,78    | 0,97    | 0       | 0       | 0       | 4,01    |
| Zn        | 2,28    | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Ti        | 0       | 0,24    | 0       | 0       | 0,28    | 0       |
| Na        | 0       | 0,49    | 0       | 0       | 0       | 0,67    |
| Mn        | 0       | 0       | 0       | 0,23    | 0       | 0       |

Na Tabela 6 pode-se observar que o alumínio tem a maior porcentagem em todas as séries, proveniente do processo oxidativo do substrato, como visto nos resultados de DRX e MEV/EDS. Seguido por silício, magnésio e ferro.

O magnésio também foi encontrado em todas as deposições, provavelmente esse elemento vem do substrato de alumínio, conhecido como liga de alumínio naval, rica em magnésio. Com o derretimento da placa, o magnésio não viria da solução e sim da própria liga que reage sob ação do eletrólito.

### 3.3.2 Ensaio de desgaste por pino-sobre-disco

Os revestimentos foram submetidos ao desgaste de pino-sobre-disco para verificação da resistência mecânica. A Tabela 7 mostra o desgaste do substrato de alumínio sem tratamento e polido, medido em termos de ganho de massa.

**Tabela 7.** Ganho de massa do alumínio sem tratamento e do pino utilizado

| Alumínio sem tratamento    | Pino                       |
|----------------------------|----------------------------|
| -0,0019 ( $\pm 0,0003$ ) g | -0,0001 ( $\pm 0,0001$ ) g |

Vale destacar, com os dados da Tabela 6, que o alumínio perde muito mais massa que o pino que é de aço.

Observou-se que partículas do revestimento foram desprendidas durante todo o ensaio, apesar da fina camada oxidada natural do substrato, esta não é suficiente para a proteção do alumínio, causando seu desgaste.

Os revestimentos foram submetidos ao desgaste e suas massas foram medidas antes e após o ensaio, sendo que o ganho de massa é representado na Tabela 8.

**Tabela 8.** Ensaio de pino-sobre-disco para os revestimentos das séries 1 a 6.

| Material | Ganho de Massa |
|----------|----------------|
| Alumínio | - 0,0019       |
| Série 1  | 0,0001         |
| Série 2  | 0,00055        |
| Série 3  | 0,0002         |
| Série 4  | 0,003          |
| Série 5  | 0,00025        |
| Série 6  | 0,00015        |

A tabela 8 mostra que os revestimentos têm ganho de massa, indicando que os revestimentos são abrasivos e retiram massa do pino.

Os pinos foram submetidos ao desgaste e suas massas foram medidas antes e após o ensaio, sendo que o ganho de massa é representado na Tabela 9.

**Tabela 9.** Ensaio de pino-sobre-disco para os pinos das séries 1 a 6.

| Material     | Ganho de Massa |
|--------------|----------------|
| Pino         | - 0,0001       |
| Pino Série 1 | 0,0002         |
| Pino Série 2 | 0              |
| Pino Série 3 | - 0,00035      |
| Pino Série 4 | - 0,00015      |
| Pino Série 5 | 0,00005        |
| Pino Série 6 | 0,00025        |

A Tabela 9 indica perda de massa do pino. A morfologia das três primeiras séries não apresentou parte granular, fazendo com que as áreas de coalescência fossem desgastadas. A massa do pino aumenta com o aumento do tempo das séries. A morfologia das três últimas séries apresentou parte granular, assim a parte granular pode ter se soltado e aderido ao pino.

## 4 CONCLUSÃO



Os resultados deste trabalho mostram que é possível a utilização de pó de exaustão como revestimento cerâmico em liga de alumínio 5052 através da oxidação eletrolítica assistida por plasma. As condições de deposição podem provocar a formação de revestimentos com características diferentes e assim proporcionar diferentes formas de aplicação para essas superfícies.

Observou-se por EDS que o alumínio tem a maior porcentagem em todas as séries, proveniente do processo oxidativo do substrato, como visto nos resultados de DRX e MEV/EDS. Seguido por silício, magnésio e ferro. O magnésio também foi encontrado em todas as deposições feitas. Provavelmente esse elemento vem do substrato de alumínio. Titânio foi encontrado nas séries 2 (5 g/L e 600 s) e 5 (10 g/L e 600 s), uma possibilidade é que com o aumento da concentração e do tempo a probabilidade de ser incorporado aumenta.

O revestimento, aumenta a resistência ao desgaste mecânico do alumínio, proporcionando uma melhora na propriedade do material, dando um uso mais nobre para o resíduo e podendo ser aplicado industrialmente.

O ensaio de pino sobre disco mostrou que a placa de alumínio sem tratamento perde muita massa em relação ao pino que é de aço. Os revestimentos obtidos têm ganho de massa indicando serem abrasivos, retirando massa do pino.

## REFERÊNCIAS

- 1 Brandão, J. R., Análise de sistemas de valorização de resíduos via compostagem e reciclagem e sua aplicabilidade nos municípios mineiros de pequeno porte. Dissertação do programa de pós graduação. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 90 p. 2006.
- 2 Pereira, Helena Ravache Samy. Proposta de formulação de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos com incorporação de pó de exaustão de fundição. Joinville/SC. 2014.
- 3 Klinsky, L. M. G. Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 279 f, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-17052013-095052/pt-br.php>>. Acesso em: Fevereiro/2015.
- 4 Associação Brasileira de Fundição – ABIFA. Manual de regeneração e reuso de areias de fundição. São Paulo. 2009.
- 5 Silva, T. C. Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.
- 6 Wanatabe, Fabio André. Estudo sobre a utilização da areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville. 2004.
- 7 Pereira, Aerton. Estudo da viabilidade técnica e ambiental da incorporação de resíduo de areia de fundição em matriz asfáltica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. 2004.
- 8 Carnin, Raquel Luísa Pereira. Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Paraná. UFPR. Curitiba. 2008.
- 9 Luvisao, Rubia Raquel. Estudo da viabilidade para reaproveitamento do resíduo de areia de fundição intemperizado em concreto asfáltico usinado a quente. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville. 2008.

- 10 Knop, Wanessa Rejane. Estudo da Viabilização da Incorporação do Pó de Exaustão em Massa Cerâmica. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville. 2009.
- 11 Siddique, R.; Singh, G. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, p. 885-892, mai. 2011.
- 12 Singh, G.; Siddique, R. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS). Construction and Building Materials, v. 28, p. 421-426, mar. 2012.
- 13 Armange, Luciana Cristina. Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville. 2005.
- 14 Oliveira, D. F. Caracterização dos finos de areia de uma fundição e sua incorporação em argamassa de cimento. 57 p. Dissertações de Mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Bauru. 2014.
- 15 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6834: Alumínio e suas ligas - Classificação da composição química. 2006.
- 16 Plasma Technolog. Mao-30: User manual. [s.d]. POWER, G.; GRÄFE, M.; KLAUBER, C. Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices. Hydrometallurgy. p. 33-45. 2011.
- 17 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 116-1:2005: Açosrápido. Parte 1: Classificação, designação e composição química. 2005.